



JAHRESBERICHT
2018

JAHRESBERICHT
2018

VORWORT

Liebe Freunde und Partner des Fraunhofer FHR,
liebe Leserinnen und Leser,

im Rückblick auf das Jahr 2018 und unsere vielfältigen Forschungsaktivitäten steht erneut das Geschäftsfeld Weltraum im Mittelpunkt: Unter großer weltweiter Beachtung begleiteten wir mit unserem Weltraumbeobachtungsradar TIRA Anfang April den Wiedereintritt der chinesischen Raumstation Tiangong-1. Unsere Analysen und Radarabbildungen halfen nicht nur dem deutschen Weltraumlagezentrum, sondern auch der ESA und dem weltweiten Netzwerk ihre Prognosen für einen Absturzort und -zeitpunkt zu verbessern. Aufgrund der internationalen Relevanz wurden unsere Radaraufnahmen von Tiangong-1 auf der ganzen Welt in den Medien verbreitet (mehr dazu auf Seite 50).

Ein weiteres Highlight war die Abbildung des französischen Satelliten Microscope im Oktober. Erstmals testete die französische Weltraumagentur ein passives Deorbiting-System: Am Ende der Missionszeit wurden Bremssegel ausgefahren, die die Verweildauer des Satelliten um zwei Drittel reduzieren. Mit den Radarabbildungen von TIRA konnten wir nachweisen, dass die Segel korrekt positioniert wurden und ihren Zweck erfüllen werden (mehr dazu auf Seite 52).

Beide Ereignisse sind gute Beispiele, dass TIRA mit seinen einzigartigen Fähigkeiten auch weiterhin ein unverzichtbarer Sensor für Deutschland und die weltweite Gemeinschaft bleiben wird.

Auch bei der ILA Berlin Air Show Ende April standen unsere Sensoren zur Weltraumbeobachtung im Mittelpunkt. Neben unserem Fraunhofer-Messestand durften wir uns auch am Stand des Weltraumlagezentrums der Bundeswehr und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie beteiligen, wo unsere Fähigkeiten mit dem neuen Weltraumüberwachungsradar GESTRA und TIRA auch bei der Bundesverteidigungsministerin Ursula von der Leyen und dem Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier auf großes Interesse stießen (mehr dazu auf Seite 52).

Nach 19 Jahren im Kuratorium und im wissenschaftlichen Beirat (davon mehr als 15 Jahre als Vorsitzender) des Fraunhofer FHR gab Prof. Dr. Hermann Rohling (TU Hamburg-Harburg) bei der Kuratoriumssitzung am 29. Juni sein Amt an seinen Nachfolger Gunnar Pappert (Diehl Defence) ab und verabschiedete sich in den Ruhestand. Wir danken ihm für sein langjähriges Engagement und erinnern uns gerne an seine freundliche und offene Art. Besonders beim Übergang von der FGAN in die Fraunhofer-Gesellschaft engagierte er sich stark und setzte sich gemeinsam mit dem Kuratorium für die Interessen des FHR ein. Wir wünschen ihm für die Zukunft alles Gute (mehr dazu auf Seite 10).



Auch innerhalb des Instituts gab es personelle Neuigkeiten: Zum 1. Januar 2018 übernahm Prof. Dr. Daniel O'Hagan offiziell die Leitung der Abteilung »Passive und störpfeste Radarverfahren« (PSR). Er war bereits von 2009 bis 2014 als Wissenschaftler und Projektleiter am Fraunhofer FHR beschäftigt, übernahm dann eine Professur an der Universität in Kapstadt, Südafrika und kehrte nun als Abteilungsleiter zurück ans Fraunhofer FHR. Wir freuen uns den weltweit vernetzten Experten für Passiv-Radar wieder am Institut zu haben und wünschen ihm viel Erfolg bei seiner neuen Funktion.

Im Geschäftsfeld Verkehr kümmert sich jetzt mit voller Arbeitskraft unser Geschäftsfeldsprecher Dr.-Ing. Andreas Danklmayer um unsere Kunden und Partner. Im Interview auf Seite 20 stellt er sich und aktuelle Aktivitäten des Geschäftsfelds vor.

Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit ihren vielfältigen Fähigkeiten und ihrem Spezialwissen sind das wichtigste Element für erfolgreiche Arbeit. Um dieses wertvolle Kapital noch besser zu nutzen, wurde zum 1. August 2018 die Stabsstelle Personalentwicklung am Institut gegründet. Hanne Bendel, bereits seit 2013 am Institut, übernimmt diese anspruchsvolle Aufgabe. Noch besser und zielgerichtet sollen nun die Mitarbeitenden bei der Entwicklung ihrer Karriere und ihren Tätigkeiten gefördert und unterstützt werden.

Zu unserem Industrieprojekt PARASOL gab es 2018 ein erfreuliches Ergebnis: Wir erhielten die Anerkennung durch die Deutsche Flugsicherung (DFS) für das Passiv-Radarsystem, so dass dem flächendeckenden Einsatz des Flugüberwachungsradar für Windenergieanlagen nichts mehr im Wege steht (mehr dazu auf Seite 64).

Wir bedanken uns an dieser Stelle bei unseren Förderern aus Bund und Land, unseren Partnern und Kunden für ihr Vertrauen und bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihre vertrauensvolle und konstruktive Zusammenarbeit.

Eine Auswahl aus unseren zahlreichen Forschungsprojekten stellen wir Ihnen mit dem vorliegenden Jahresbericht 2018 vor. Wir laden Sie ein, sich einen Einblick zu verschaffen und wünschen Ihnen eine anregende Lektüre!



Geschäftsführender Institutsleiter:

Prof. Dr.-Ing. Peter Knott

Tel. +49 228 9435-227

peter.knott@

fhr.fraunhofer.de



Institutsleiter:

Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling

Tel. +49 228 9435-176

dirk.heberling@

fhr.fraunhofer.de

Peter Knott

Dirk Heberling

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	4

AUS DEM INSTITUT

Besondere Ereignisse 2018	6
Prof. Rohling als langjähriger Kuratoriumsvorsitzender verabschiedet	10
ILA Berlin Air Show: Fraunhofer FHR an vier Messeständen präsent	12
European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)	14
International Radar Symposium IRS feiert 20 jähriges Jubiläum in Bonn	16
EDA Workshop »AI and cognitive technologies for radar, comms and EW«	18
Interview: Radarsensoren – Immer an Bord!	20

ÜBERBLICK

Fraunhofer FHR im Profil	22
FMD@FHR: Ihr Zugang zu modernsten Technologieparks	26
Fraunhofer FHR in den Medien	28
Ihre Ansprechpartner	30
Das Kuratorium	32
Geschäftsfelder	34

FORSCHUNGSBERICHTE

Multifunktionale kohärente Radarverbände	36
Radarbildbasierte Navigation von Drohnen	38
Untersuchung der aktiven Schwenkimpedanz von konformen Aperturen	40
Robuste Detektionsstrategien mit Machine Learning und Compressive Sensing	42

Intelligente elektronische Gegenmaßnahmen (EloGM) gegen moderne Radarsysteme	44
Weltraumüberwachung mit GESTRA	46
Jedes db zählt – Bessere Detektionsempfindlichkeit von Phased-Array-Radaren durch Kryotechnologie	48
Begleitung des Wiedereintritts der chinesischen Raumstation Tiangong-1 mit TIRA	50
Unterstützung von Satelliten De-Orbiting-Missionen mit TIRA	52
Materialcharakterisierung für Automotive Radar	54
EM-Simulation dynamischer Verkehrsszenarien	56
Polarimetrie mit PERFORM	58
Antennenentwicklung für zukünftige Automobilradare	60
Neue Impulse in der Magnet-Resonanz-Bildgebung durch Metamaterialien	62
Passiv-Radar steuert Nachtkennzeichnung von Windkraftanlagen	64
Kleinste MIMO-Sensoren für dreidimensionalen Durchblick bei schwierigen Umweltbedingungen	66

ANHANG

Veröffentlichungen	68
Ausbildung und Lehre	70
Gremientätigkeiten	74
Auszeichnungen	78
Veranstaltungen	79
Standorte	80
Impressum	82



BESONDERE EREIGNISSE 2018

Wachtberg, 1.1.2018

Neuer Abteilungsleiter der Abteilung PSR

Zum 1. Januar 2018 übernahm Prof. Dr. Daniel O'Hagan die Leitung der Abteilung »Passive und störteste Radarverfahren« (PSR). Er war bereits von 2009 bis 2014 am Fraunhofer FHR beschäftigt und arbeitete dann als Professor an der Universität in Kapstadt, Südafrika bevor er zurückkam.

Berlin, 18.1.2018

Juliane Rama gewinnt Friedrich-Wilhelm-Gundlach-Preis

Dr. rer. nat. Juliane Rama (Abt. ISS) ist für ihre Masterarbeit »Theoretische Synthese der SAR-Trajektorie eines 3D-Radarscanners im Millimeterwellenbereich« mit dem Friedrich-Wilhelm-Gundlach-Preis, TU Berlin ausgezeichnet worden.

Bonn, 20.-22.2.2018

Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland

Das Fraunhofer FHR zeigte neueste Technologien und Anwendungen für den Verteidigungs- und Sicherheitsbereich. U.a. das PAMIR-Ka System zur luftgetragenen Radarbildgebung oder die Weltraumbeobachtungsradare TIRA und GESTRA.

Wachtberg, 1.4.2018

Radarabbildungen von Tiangong-1 gehen um die Welt

Mit weltweiter Aufmerksamkeit begleitete das Fraunhofer FHR den Wiedereintritt der chinesischen Raumstation Tiangong-1. Die einzigartigen Radarabbildungen wurden von der nationalen und internationalen Presse veröffentlicht. Weitere Informationen finden Sie auf Seite 50 und Seite 51.

Köln, 20.-23.3.2018

Anuga FoodTec

Gemeinsam mit fünf Fraunhofer-Instituten zeigten wir auf der Leitmesse der Lebensmittelindustrie unseren Foodinspector, der Fremdkörper in verpackten Lebensmitteln entdecken kann.

Die Institutsleiter Prof. Knott und Prof.

Heberling begrüßen die Gäste beim 8.

Wachtberg-Forum im Innenraum des

Weltraumbeobachtungsradars TIRA.

Wachtberg, 27.4.2018

Girls'Day

Zum 18. Mal besuchten Mädchen verschiedener Altersgruppen das Fraunhofer FHR. In unterschiedlichen Workshops bauten sie eine elektronische Baugruppe, schauten sich in einem Elektroniklabor um, programmierten Lego-Roboter oder erfuhren, was eine Feinwerkmechanikerin macht. Zum Abschluss ging es natürlich noch zur Besichtigung in die "Kugel".

Hannover, 23.-27.4.2018

Hannover Messe

Im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) präsentierten wir auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand unsere Kompetenz zur Fertigung von Radarantennen, insbesondere von dielektrischen Linsen mit Hilfe von 3D-Druck.

Berlin, 25.-29.4.2018

ILA Berlin Air Show: Fraunhofer FHR an vier Messeständen präsent - Premiere für GESTRA-Film

(Siehe ausführlicher Beitrag auf Seite 12)

Wachtberg, 8.5.2018

Qualitätsmanagement-Audit für ISO-Zertifizierung der Verwaltung erfolgreich

Zur Verbesserung der Abläufe und für mehr Transparenz wurden alle Verwaltungsabläufe in einem Qualitätsmanagementhandbuch (QMH) dokumentiert und vom TÜV Süd zertifiziert.

Bonn, 18.5.2018

Wissenschaftsnacht Bonn

Mit einem eigenen Messestand und einem Vortrag zum Thema "Radar-Kreisläufe" präsentierte sich das Fraunhofer FHR mit den Themen Weltraumbeobachtung und berührungsloses, zerstörungsfreies Prüfen.

Aachen, 4.-7.6.2018

12th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Best Poster Award für Dr. Walterscheid, Philipp Wojaczek und Dr. Diego Cristallini

(Siehe ausführlicher Beitrag auf Seite 14)



Wachtberg, 8.6.2018

Forscher vom MIT Lincoln Laboratory, USA besuchten das Fraunhofer FHR und seine Großradaranlage TIRA

Dr. Joseph Usoff ist leitender Wissenschaftler für das Haystack Ultrawideband Satellite Imaging Radar (HUSIR), ein Weltraumbeobachtungsradar vergleichbar mit TIRA in der Größe und Leistungsfähigkeit, so dass ein wissenschaftlicher Austausch für beide Seiten sehr hilfreich war.

Bonn, 20.-22.6.2018

International Radar Symposium (IRS)

(Siehe ausführlicher Beitrag auf Seite 16)

Wachtberg, 28.6.2018

Wachtberg-Forum

Mit einer Rekordzahl von über 200 Personen fand unsere beliebte Technologiedemonstration am Hauptstandort in Wachtberg statt. Themenschwerpunkte waren in diesem Jahr sowohl die Drohnerdetektion als auch Drohnen als Sensorträger (mehr dazu unter www.fhr.fraunhofer.de/wachtberg-forum).

Remagen, 13 - 20.7.2018

10th International Summer School on Radar/SAR

Bereits zum zehnten Mal kamen rund 50 Teilnehmende aus aller Welt zur International Summer School on Radar/SAR ins Rheinland. Diese Veranstaltung richtet sich an junge Wissenschaftler aus dem Bereich Radar. Neben Vorträgen von internationalen Radarexperten gab es intensive Workshops und zur Vernetzung ein ansprechendes Begleitprogramm.

Wachtberg, 23.7.2018

Daniel Behrendt wird neuer Geschäftsfeldsprecher Produktion

Zur Stärkung des Geschäftsfeldes Produktion wurde Daniel Behrendt zum neuen hauptamtlichen Geschäftsfeldsprecher Produktion berufen.

Wachtberg, 1.8.2018

Mitarbeitende im Fokus: Neue Stabsstelle Personalentwicklung am Fraunhofer FHR mit Hanne Bendel

Mit der Gründung der Stabsstelle Personalentwicklung sollen die Mitarbeitende bei der Entwicklung ihrer Karriere und ihren Tätigkeiten gefördert und unterstützt werden. Hanne Bendel übernimmt diese anspruchsvolle Aufgabe.

Wachtberg, 23.8.2018

Auszeichnung: IET Premium Award 2018 für Fraunhofer FHR-Wissenschaftler Dr. D. Cristallini und G. Bournaka

Für die Veröffentlichung „Experimental results of polarimetric detection schemes for DVB-T-based passive radar“ wurden die Autoren Francesca Filippini, Fabiola Colone (Uni Rom), Dr. Diego Cristallini und Georgia Bournaka (Abt. PSR) mit dem 2018 Premium Award for Best Paper im Journal "IET Radar, Sonar & Navigation" ausgezeichnet.

Hamburg, 4.-7.9.2018

SMM Messe

Bei der Schiffahrtmesse SMM zeigten das Fraunhofer FHR und seine Partner auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand mit SEERAD ein neues Seenotrettungs-Radar, das einzelne Personen im Wasser über große Distanzen orten kann und deutlich günstigere Transponder nutzt als bisherige Systeme.

Bonn, 13.9.2018

Firmenlauf Bonn

Über 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vom Fraunhofer FHR und FKIE sind beim 12. Firmenlauf Bonn in einem gemeinsamen Team für einen guten Zweck gelaufen.

Bonn, 26.09.2018

Auszeichnung: Oliver Grenz wurde mit AFCEA Studienpreis 2018 ausgezeichnet

Für seine Masterarbeit "Verlustoptimierung einer breitban-



digen, doppelt polarisierten CBSP-Antenne im L-Band mit Betrachtung der Kreuzpolarisationsentkopplung, Fertigungsaspekten und Phased-Array Tauglichkeit" im Rahmen des Forschungsprojekts GESTRA erhielt Oliver Grenz einen zweiten Preis der AFCEA Studienpreise 2018 und damit ein Preisgeld von 3000 Euro.

Madrid, Spanien, 25.-27.9.2018

European Microwave Week (EUMW)

Gemeinsam stellten Fraunhofer FHR und IAF mit der niederländischen Forschungsorganisation TNO ihre neuen Technologien aus dem Bereich Millimeterwellen- und Terahertzsysteme aus. Gezeigt wurden die kognitiven Radarsysteme für smarte Fahrerassistenzsysteme und der Radarzielgenerator ATRIUM.

Bremen, 1.-5.10.2018

69th International Astronautical Congress IAC

Nach 15 Jahren fand die jährliche, internationale Raumfahrtmesse wieder in Deutschland statt. Gemeinsam mit der Fraunhofer-Allianz Space zeigte das Institut seine Fähigkeiten im Bereich der Weltraumbeobachtung mit TIRA und GESTRA.

München, 13.-16.11.2018

Electronica Messe

Das Fraunhofer FHR nahm im Rahmen der FMD am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand teil. Themen waren die berührungslose Überwachung von Vitalparametern und die drohnengestützte hochaufgelöste Radarbildgebung.

Wachtberg, 15.11.2018

ESA European Space Talks

Anlässlich der von der Europäischen Weltraumagentur ESA initiierten Space Talks fanden in ganz Europa über 280 Veranstaltungen in 27 Ländern statt. Am Fraunhofer FHR war die Veranstaltung u.a. mit ESA-Weltraumschrottexperte Dr. Holger Krag und 60 Teilnehmern schnell ausgebucht.

- 1 *Geschäftsfeldsprecher Verkehr, Dr. Danklmayer, vor dem Stand bei der SMM Messe in Hamburg mit unserem neuen Schiffsradar.*
- 2 *Oliver Grenz (3. v. l.) gewann einen Studienpreis der AFCEA.*
- 3 *Bei den European Space Talks informierten Forscher des Fraunhofer FHR und der ESA über die aktuelle Weltraumtrümmersituation.*



Leiter
 Interne und externe Kommunikation:
Dipl.-Volksw. JENS FIEGE
 Tel. +49 151 613 653 67
 jens.fiege@fhr.fraunhofer.de



PROF. ROHLING ALS LANGJÄHRIGER KURATORIUMSVORSITZENDER VERABSCHIEDET

Am 29. Juni 2018 ging eine Ära zu Ende: Prof. Hermann Rohling verabschiedete sich in den Ruhestand. Er war seit 1999 im Beratergremium des Instituts und seit mehr als 15 Jahren dessen Vorsitzender. Zu seinem Nachfolger wurde einstimmig Gunnar Pappert gewählt.

Jedes Fraunhofer-Institut hat ein Kuratorium mit Mitgliedern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft die das Institut in strategischen Fragestellungen und wichtigen Institutsentwicklungen beraten. 2018 fand in dem Gremium, das mindestens einmal jährlich tagt, ein besonderer Wechsel statt. Nach über 15 Jahren als Vorsitzender und fast 20 Jahren im Beratergremium des Fraunhofer FHR übergab Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Hermann Rohling (TU Hamburg-Harburg) den Vorsitz an seinen Nachfolger Gunnar Pappert (Diehl Defence).

Der herausragende Radarforscher und Unternehmer Prof. Rohling begleitete das Fraunhofer FHR als Berater fast 20 Jahre. Als er 1999 in den wissenschaftlichen Beirat des Instituts berufen wurde, hatte er gerade die Leitung des Instituts für Nachrichtentechnik an der Technischen Universität Hamburg-Harburg übernommen. Vorher war er in der Industrie und an verschiedenen anderen Hochschulen tätig. Seine große Erfahrung und sein internationales Netzwerk waren stets eine Bereicherung. Insbesondere im jahrelangen Übergangsprozess von der FGAN in die Fraunhofer-Gesellschaft engagierte er sich im besonderen Maße für das Institut, so dass gute Rahmenbedingungen für den Start in der neuen Organisation geschaffen werden konnten. Damit gab es eine optimale Basis, die zu der erfolgreichen Entwicklung der Instituts Geschichte führte.

Sein Engagement in der Deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON) und die Gründung des Internationalen Radar Symposium (IRS) erreichte ein großes Netzwerk, vor allem in Mittel- und Osteuropa, von dem auch das Institut profitierte.

Das Institut hat Prof. Rohling viel zu verdanken und die Institutsleiter und Mitarbeitenden wünschen ihm alles Gute.

Gunnar Pappert ist bereits seit 2009 Mitglied im Kuratorium des Fraunhofer FHR. Die Zusammenarbeit mit dem Institut begann aber bereits viele Jahre zuvor. Nach dem Studium der Nachrichtentechnik mit dem Schwerpunkt Radartechnik an der Technischen Universität München begann er 1989 als Hochfrequenz-Entwicklungsingenieur im Geschäftsbereich Verteidigung bei Diehl Defence. In dieser Funktion gab es schon mehrere Vorhaben mit intensiver Zusammenarbeit bei der Entwicklung von Radarsensoren und im Bereich von Signaturmesskampagnen.

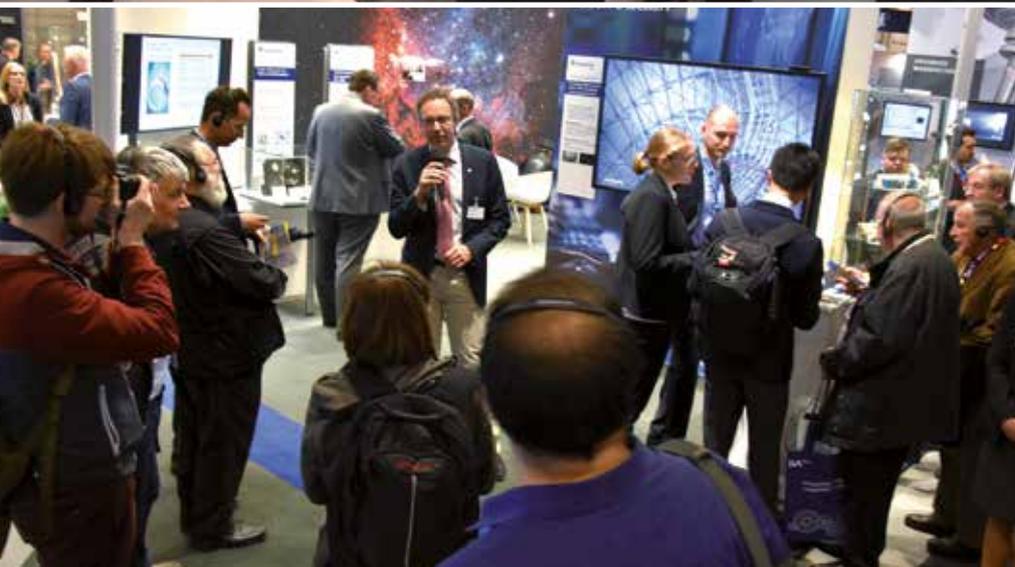
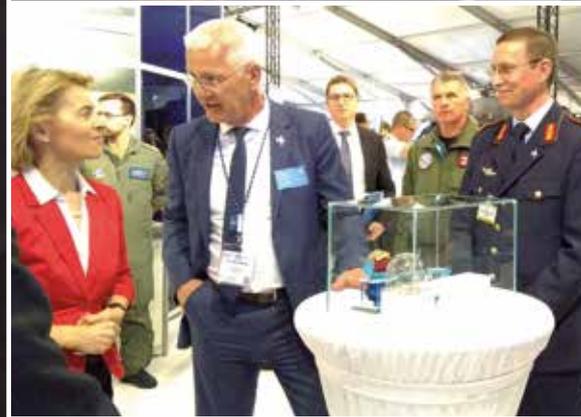
Über verschiedene verantwortliche Funktionen in Aufbau- und Ablauforganisation bei Diehl Defence übernahm Herr Pappert 2006 die Leitung des Qualitätsmanagement und wurde 2013 zusätzlich Standortleiter der Diehl Defence in Röttenbach. Seit 2015 leitet Herr Pappert den Produktbereich Heeressystem.

Gerade im Bereich Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung sind die Anforderungen an das Institut durch die immer größere Anzahl von Industrieprojekten stark gestiegen. Ein zielgerichteter und systematischer Strategieprozess sowie der erfolgreiche Marktauftritt sind für das Institut von hoher Bedeutung. Mit seinen Erfahrungen im Projektmanagement, im Qualitätsmanagement, in Strategieprozessen und im Marketing ist Herr Pappert der ideale Vorsitzende um das Institut in Zukunft auf breiter Ebene zu beraten und zu unterstützen.

Das Fraunhofer FHR freut sich auf eine weitere gute Zusammenarbeit und die Institutsleitung wünscht Herrn Pappert viel Erfolg bei der neuen Aufgabe.

*Die Institutsleiter Prof. Knott (l.)
und Prof. Heberling (r.) verabschieden Prof. Rohling (2.v.l) und begrüßen Gunnar Pappert (2.v.r.) als Kuratoriumsvorsitzenden.*

*Dipl.-Volksw.
Jens Fiege
Tel. +49 151 613 653 67
jens.fiege@
fhr.fraunhofer.de*



ILA BERLIN AIR SHOW: FRAUNHOFER FHR AN VIER MESSESTÄNDEN PRÄSENT

Mit seinen Radarsensoren zur Weltraumbeobachtung beteiligte sich das Fraunhofer FHR an vier Messeständen bei der ILA Berlin Air Show vom 25. bis 29. April. Dort hatte auch unser Film über das Weltraumüberwachungsradar GESTRA seine Premiere.

Immer mehr Weltraummüll gefährdet die Satelliten im erdnahen Orbit. Ihre Aufgaben in den Bereichen Telekommunikation, Navigation oder Wettervorhersage sind jedoch essentiell für unsere Gesellschaft. Das Fraunhofer FHR entwickelt deshalb radarbasierte Systeme, mit denen auch kleinste Trümmerteile detektiert, nachverfolgt und katalogisiert werden können. Mit hochpräzisen Bahndaten möglichst vieler dieser Objekte können Satellitenbetreiber Ausweichmanöver besser planen und zerstörerische Kollisionen vermeiden. Das Fraunhofer FHR stellte zusammen mit seinen Partnern vom 25. bis 29. April 2018 auf der Luft- und Raumfahrtmesse ILA Berlin Air Show die komplementären Radarsysteme TIRA und GESTRA sowie neueste Radarverfahren zur Weltraumbeobachtung an vier Ständen vor: Fraunhofer-Gesellschaft in Halle 2, Space Pavillion in Halle 4, Weltraumlagezentrum der Bundeswehr in Halle 3 und Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi in Halle 2.

Satellitengestützte Dienste sind für moderne Gesellschaften unverzichtbar – und somit auch Wissen über die Situation im Orbit. Um Informationen über die sogenannte Weltraumlage zu erhalten, werden derzeit von Politik, Weltraumagenturen und Satellitenbetreibern vielfältige Anstrengungen unternommen. Denn aufgrund der hohen Geschwindigkeiten von Satelliten und anderen Weltraumobjekten haben selbst Teilchen von nur einem Zentimeter Größe im wahrsten Sinne des Wortes eine durchschlagende Kraft und können zur Verschärfung der Situation im Weltraum beitragen.

Radar warnt vor Weltraummüll und hilft bei Schäden

Mit dem *Tracking and Imaging Radar* TIRA sind neben Bahnbestimmungen und Schadenanalysen die Identifizierung und

technische Analyse von Satelliten möglich. Mit dem *German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar* GESTRA entsteht ein Weltraumüberwachungsradar mit Leading-edge-Technologie, welches einen Katalog der Weltraumtrümmer im erdnahen Bereich erzeugen wird.

Bei der ILA Berlin Air Show kamen daher unsere Systeme auch in den Fokus von zwei Bundesministern. Dr. Gerald Braun (DLR) informierte Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier am Stand des Bundeswirtschaftsministeriums über GESTRA. Das Projekt wird vom Bundeswirtschaftsministerium auf Beschluss des Deutschen Bundestags gefördert und vom DLR-Raumfahrtmanagement koordiniert. Bei der Umsetzung kooperiert das Fraunhofer FHR eng mit dem Deutschen Weltraumlagezentrum in Uedem, welches das System betreiben wird.

Im Anschluss an ihre Pressekonferenz besuchte Bundesverteidigungsministerin Ursula von der Leyen den Stand der Bundeswehr, wo auch das Deutsche Weltraumlagezentrum vertreten war. Hier zeigte das Fraunhofer FHR Modelle von GESTRA und TIRA. Die beiden Systeme des Fraunhofer FHR ermöglichen es dem Deutschen Weltraumlagezentrum, unabhängig von Wetter und Tageszeit die benötigten Informationen über Satelliten und Raumfahrtrückstände zu sammeln. Die Verteidigungsministerin zeigte sich sehr interessiert an den Fähigkeiten, die dem Deutschen Weltraumlagezentrum durch die beiden leistungsstarken Sensoren zur Verfügung stehen. Besonders beeindruckt war sie von der strategischen Ausbaufähigkeit des GESTRA-Konzeptes hinsichtlich verteilter Phased-Array-gestützter Weltraumüberwachungsradare. Dieses Konzept, welches am Fraunhofer FHR federführend weiter entwickelt und konkretisiert werden wird, wurde von Dr. Braun als weltweit einzigartig dargestellt.

*Bundesverteidigungsministerin
Ursula von der Leyen und Bundeswirtschaftsminister Peter
Altmaier besuchten unsere
Messestände auf der ILA Berlin
Air Show.*

*Dipl.-Volksw.
Jens Fiege
Tel. +49 151 613 653 67
jens.fiege@
fhr.fraunhofer.de*



EUROPEAN CONFERENCE ON SYNTHETIC APERTURE RADAR (EUSAR)

Die internationale Konferenz zur Radarbildgebung vom 4. bis 7. Juni 2018 in Aachen war mit 450 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 32 Ländern im Jahr 2018 die weltweit größte Konferenz auf diesem Gebiet. General Chairman war Dr. Andreas Brenner vom Fraunhofer FHR.

Radarbilder der Erde aus der Luft, aus dem Weltraum oder von Objekten im Weltraum bieten einzigartige Vorteile: Aus hunderten Kilometern Entfernung können hochaufgelöste Abbildungen erzeugt werden – unabhängig von Wetter und Tageslicht. Das sind zum Beispiel detaillierte Karten der Erdoberfläche zur Kartographie oder präzise Abbildungen von Satelliten wie beim Wiedereintritt der chinesischen Raumstation Tiangong-1.

Was sind die neuesten Entwicklungen und Anwendungen im Bereich der Radarbildgebung? Diese Frage beantworteten die 450 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 32 Ländern Anfang Juni in Aachen auf der 12. Europäischen Konferenz zum Synthetischen Apertur Radar (EUSAR). Die Konferenz findet alle zwei Jahre statt und wird vom Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE) organisiert und wissenschaftlich durch die Fraunhofer-Gesellschaft, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, Airbus und Hensoldt begleitet. 2018 hatte Dr. Andreas Brenner, Abteilungsleiter beim Fraunhofer FHR, den Konferenzvorsitz.

Mit über 250 Beiträgen in 50 Sessions wurde bei der Konferenz die ganze Breite des Themas abgedeckt. Besonders erwähnenswert waren hier die Vorträge führender Forscher aus den USA: Dr. Paul Rosen (NASA JPL) präsentierte neueste Technologien und Ergebnisse zur satellitengestützten Erdbeobachtung und Dr. Joseph Usoff (MIT *Lincoln Laboratory*) zeigte die Fähigkeiten des Haystack Großradar (HUSIR), welches gemeinsam mit der Großradaranlage TIRA des Fraunhofer FHR im Bereich der Weltraumbeobachtung zu den leistungsfähigsten Radarsystemen der Welt gehört. Denn Radar bietet als einziger Sensor die Fähigkeit vom Erdboden aus kleinste

Weltraumtrümmer zu detektieren und hochaufgelöste Abbildungen von Weltraumobjekten zu erstellen, wie an Ostern 2018 bei der Begleitung des Wiedereintritts der chinesischen Raumstation Tiangong-1. Forscher des Fraunhofer FHR beteiligen sich auch zu diesem Thema.

Best Poster Award für Fraunhofer FHR-Wissenschaftler

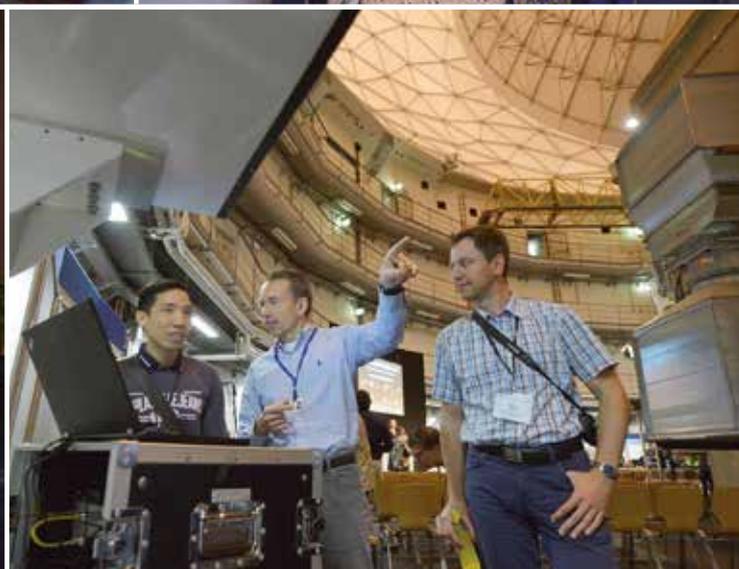
Am letzten Konferenztage der EUSAR in Aachen wurden die besten Beiträge ausgezeichnet: Der Fraunhofer FHR-Wissenschaftler Dr. Ingo Walterscheid gewann gemeinsam mit den Institutskollegen Philipp Wojaczek und Dr. Diego Cristallini sowie Ashley Summers (DSTG, AUS) den »Best Poster Award« für das Paper »Challenges and first results of an airborne passive SAR experiment using a DVB-T transmitter«. Die Institutsleitung gratulierte den Preisträgern zu ihrem großartigen Erfolg.

In dem vorgestellten Projekt »Passives SAR« wird untersucht, ob bzw. wie nicht-kooperative Beleuchter (hier DVB-T) zur Radarbildgebung und verdeckten Aufklärung genutzt werden können. Das Paper beschreibt die Herausforderungen und die ersten Ergebnisse einer Messkampagne bei der am Boden reflektierte Fernsehsignale (DVB-T) mit Hilfe eines PCL-Empfängers an Bord des Ultraleichtflugzeugs »Delphin« empfangen und aufgezeichnet wurden. Durch die anschließende Signalverarbeitung konnten erfolgreich erste Radarbilder prozessiert werden.

Die nächste EUSAR findet vom 15. bis 18. Juni 2020 in Leipzig statt. Aktuelle Informationen erhalten Sie unter www.eusar.de.

Dr. Brenner, Dr. Usoff (MIT Lincoln Laboratory) und Dr. Rosen (NASA JPL) eröffneten die EUSAR in Aachen. Nach der Konferenz besuchten die Wissenschaftler aus den USA unser Weltraumbeobachtungsradar TIRA.

*Dipl.-Volksw.
Jens Fiege
Tel. +49 151 613 653 67
jens.fiege@fhr.fraunhofer.de*



INTERNATIONALES RADAR SYMPOSIUM IRS FEIERT 20-JÄHRIGES JUBILÄUM IN BONN

Jedes Jahr tauschen Experten aus aller Welt beim International Radar Symposium IRS neueste Erkenntnisse der Radarforschung aus und erschließen die vielversprechende Technologie für moderne Anwendungen.

2018 feierte das von der deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON) und dem Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR organisierte Symposium sein zwanzigjähriges Jubiläum in Bonn. Unter dem Vorsitz von Prof. Dr. Peter Knott, dem Institutsleiter des Fraunhofer FHR, startete das viertägige Symposium am 19. Juni 2018 mit dem Besuch des Instituts in Wachtberg und seines weithin sichtbaren Weltraumbeobachtungsraders TIRA.

Radarsysteme können kleinste Bewegungen auch in großer Ferne und bei schlechten Sichtverhältnissen schnell und zuverlässig detektieren. Sie sind daher prädestiniert, um z. B. im Straßen-, Schiffs- und Luftverkehr, der Produktion oder beim Schutz von Mensch und Infrastruktur für mehr Sicherheit zu sorgen. Die Radarforschung macht die komplexen Systeme immer kleiner, leichter und effizienter hinsichtlich Kosten und anderer Ressourcen wie Energiebedarf, Rechner- und Speicherleistung. Auch immer intelligenter Sensoren, die sich selbst an die jeweilige Aufgabe anpassen und so den Anwender entlasten, sind Teil aktueller Forschungsarbeiten.

Beim International Radar Symposium vom 19. bis 22. Juni 2018 diskutierten rund 300 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in über 150 Beiträgen und einer technischen Ausstellung sowohl über die komplexe Technologie als auch die damit möglichen Anwendungen. Auf der Agenda standen u. a. neue Techniken der Signal- und Datenverarbeitung. Auch Passivradar, das selbst keine Signale aussendet, sondern die Reflexionen bereits vorhandener Signalquellen wie z. B. TV- oder Mobilfunksender nutzt, kognitives Radar und neue

Methoden der Signalerzeugung für eine exakte und effektive Steuerung der Systeme bildeten Schwerpunkte der Vorträge.

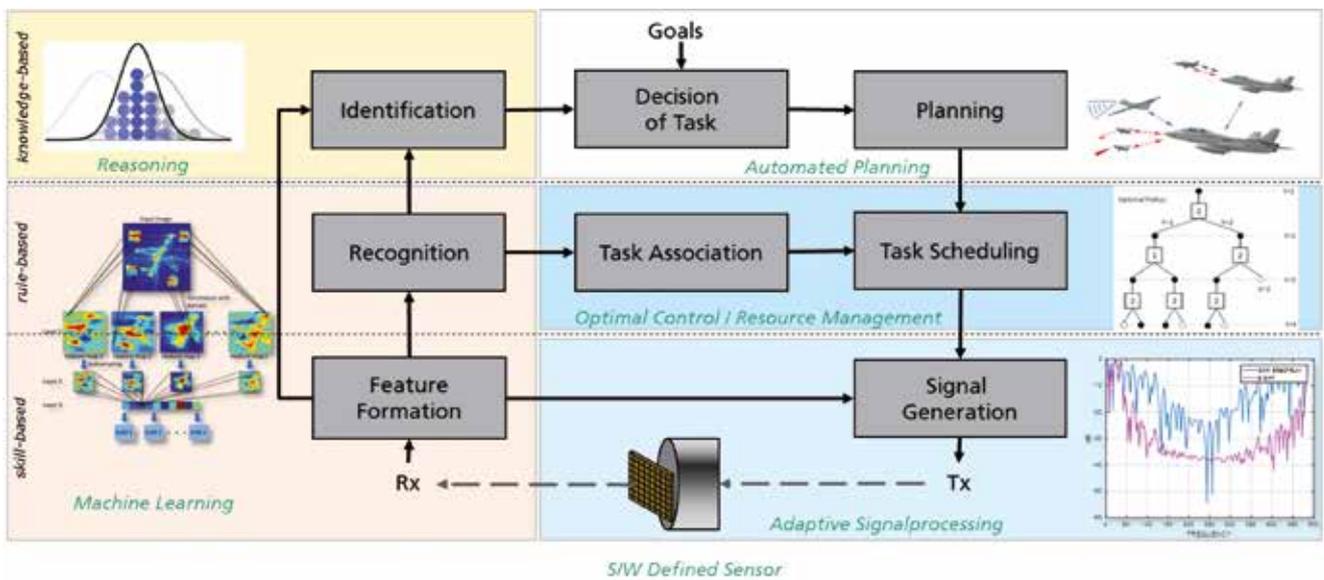
Wie die neuen Radar-Techniken z. B. die Detektion von Drohnen und die Flugverkehrskontrolle verbessern können oder in der Meteorologie frühzeitig und zuverlässig vor Unwettern warnen können, waren ebenso Themen des Symposiums, wie ihr Einsatz für zuverlässigere Fahrerassistenzsysteme. Viele technische Trends erfordern immer exaktere und intelligenter Sensoren Systeme wodurch auch die Radar-Technik sowohl für militärische als auch zivile Aufgaben an Bedeutung gewinnt. Die Forscher am Fraunhofer FHR und weltweit wollen sie für Unternehmen, Organisationen und damit auch die Endanwender noch besser nutzbar machen. Deshalb steht bereits der Termin für das nächste International Radar Symposium fest: Es wird vom 26. bis 28. Juni 2019 in Ulm stattfinden.

Christian-Hülsmeier-Award für Professor Rohling

Als Auszeichnung für herausragenden Pioniergeist in der Radarforschung vergab das Programmkomitee des IRS auch 2018 den Christian-Hülsmeier-Award. In diesem Jahr ehrte es den Mitbegründer des IRS, Prof. Dr. Hermann Rohling von der TU Hamburg-Harburg. Hervorgehoben wurden insbesondere seine Arbeiten zu Design und Entwicklung von Radarsystemen, sein Engagement in der Lehre und seine Beiträge zur Vernetzung der Radar-Community, die sich nicht zuletzt durch sein großes Engagement für das IRS ausdrücken. Teilnehmer aus 38 Ländern wohnten der feierlichen Preisübergabe am 21. Juni 2018 im Rahmen des IRS bei.

Anlässlich des 20. International Radar Symposium (IRS) in Bonn besuchten die Teilnehmer auch das Weltraumbeobachtungsradar TIRA des Fraunhofer FHR in Wachtberg.

*Dipl.-Volksw.
Jens Fiege
Tel. +49 151 613 653 67
jens.fiege@
fhr.fraunhofer.de*



SiW Defined Sensor

EDA WORKSHOP »AI AND COGNITIVE TECHNOLOGIES FOR RADAR, COMMS AND EW«

Am 3. und 4. Dezember 2018 fand bei der European Defence Agency (EDA) in Brüssel ein Workshop zum Thema »Künstliche Intelligenz und Kognitive Technologien für Radar, Kommunikation und elektronische Gegenmaßnahmen« statt. Mit 64 Teilnehmern aus den CapTechs Radar und Information Technology traf die Veranstaltung auf große Resonanz. Die insgesamt 22 Präsentationen wurden in vier Themenschwerpunkte untergliedert.

Die zunehmende Ausdehnung der genutzten Funkfrequenzen sowohl durch Radar als auch durch Kommunikationssysteme macht eine intelligentere Nutzung des verfügbaren Spektrums sowie eine gute Absprache zwischen den ehemals häufig getrennten Disziplinen erforderlich. Insbesondere die inzwischen etablierte Kommunikationstechnologie des kognitiven Radios kann dem Radar sowie den elektronischen Gegenmaßnahmen als Vorlage dienen. Aus diesem Grund entstand aus der NATO *Industrial Advisory Group* der Wunsch, einen CapTech-übergreifenden Workshop zu diesem Thema zu veranstalten.

Das Konzept des kognitiven Radars sieht eine realzeitliche Adaption sämtlicher Radarparameter an Szene, elektromagnetische Umgebung sowie Missionsziele vor. Bei der technischen Umsetzung kommen Verfahren der künstlichen Intelligenz (KI), maschinelles Lernen sowie numerische Optimierungsverfahren zum Einsatz. Die Teilnehmer aus Industrie und Forschung unterstrichen die wachsende Bedeutung kognitiver Verfahren zur Steuerung moderner, software-definierter multifunktionaler Hochfrequenz (HF)-Systeme, und präsentierten neueste Ergebnisse und Perspektiven zur operationellen Nutzung.

Der erste Themenschwerpunkt »Kognitive Multifunktionale HF-Architekturen« beleuchtete unterschiedliche Systemarchitekturen zur Signal- und Informationsverarbeitung in *Active Electronically Scanned Array* (AESA)-Systemen. Die Abbildung unten zeigt die kognitive Radararchitektur des Fraunhofer FHR, welche auf drei Abstraktionsebenen in Analogie zu einem Modell menschlicher Kognition arbeitet. Es wurde deutlich,

dass der Übergang von aktuellen, adaptiven Radarsystemen zu kognitiven schrittweise erfolgt, und insbesondere durch steigende Automatisierungsgrade und Lernfähigkeit gekennzeichnet ist.

Der Themenblock »Koexistenz und Spektrum-Management« widmete sich den konkreten Herausforderungen eines dicht belegten elektromagnetischen Spektrums, das vor allem durch den steigenden Bandbreitenbedarf im Mobilfunk (5G) getrieben wird. Auch militärische Radarsysteme müssen diesen neuen Anforderungen gerecht werden und frequenzagil betrieben werden.

Der Themenblock »Maschinelles Lernen« wurde vor allem durch die Anwendung von *Deep Learning* Verfahren zur automatischen Zielklassifizierung geprägt. Jedoch war auch ein Trend beobachtbar, allgemeine Verfahren der statistischen Signalverarbeitung durch datengetriebene Ansätze zu ersetzen.

Im letzten Themenblock wurden übergreifende Ansätze der künstlichen Intelligenz sowie der Sensorfusion erläutert. Es zeigte sich, dass die Berücksichtigung von Kontextinformationen, sowie erklärbare KI wichtige Beiträge zum Situationsbewusstsein und zur Zertifizierbarkeit kognitiver Sensorsysteme liefern können.

Aufgrund des disruptiven Potenzials und der großen Anwendungsvielfalt erwies sich der Workshop als wichtiger Beitrag zur europäischen Kooperation auf diesem Gebiet.

Der vom Fraunhofer FHR organisierte Workshop »Künstliche Intelligenz und Kognitive Technologien für Radar, Kommunikation und elektronische Gegenmaßnahmen« fand am 3. und 4.12.2018 bei der EDA in Brüssel statt.

*Dr.-Ing.
Stefan Brüggewirth
Tel. +49 228 9435-173
stefan.brueggewirth@
fhr.fraunhofer.de*

INTERVIEW

RADARSENSORIK – IMMER AN BORD!

Zu Lande, zu Wasser und in der Luft: Radar ist ein Schlüsselsensor für mehr Autonomie und Sicherheit im Verkehr. Dr. Andreas Danklmayer vermittelt deshalb Kunden und Partnern der Branche als erster Ansprechpartner schnell die passenden Experten des Fraunhofer FHR.



Dr. Danklmayer, seit Anfang 2019 sind Sie Sprecher des Geschäftsfelds Verkehr in Vollzeit und damit das Gesicht des Fraunhofer FHR für Kunden und Partner aus der Verkehrsbranche. Wieso geht das Institut diesen Schritt?

Alle Zweige der Verkehrsbranche stehen vor großen neuen Herausforderungen: Im Straßenverkehr steht die moderne Fahrerassistenz bis zum autonomen Fahren im Vordergrund, im zunehmenden Schiffs- und Flugverkehr v. a. die höheren Anforderungen an die Sicherheit und im Schienenverkehr ergeben sich z. B. durch die stärkere Auslastung der Systeme beim Gütertransport neue Herausforderungen. Die Nachfrage

nach zuverlässigen und effizienten neuen Technologien wächst. Wir wollen unseren Kunden und Partnern mit einem Hauptsprechpartner für das Geschäftsfeld Verkehr die Suche nach passenden Lösungen vereinfachen.

Das Fraunhofer FHR erforscht und entwickelt Radar- und Hochfrequenztechnologie. Wie kann die zur Lösung dieser neuen Herausforderungen beitragen?

Wenn ein Auto autonom fahren oder eine Paketdrohne autonom fliegen soll, müssen sie Verkehrswege und Hindernisse bei allen Wetter- und Lichtverhältnissen zuverlässig erkennen können. Radar kann Objekte und Abstände unabhängig vom Licht, auch bei Staub oder Nebel, hochexakt vermessen. Das macht es für Navigations- und Detektionsaufgaben unerlässlich. Auch landende Hubschrauber können sich auf Radar verlassen, wenn aufgewirbelter Staub die Sicht zum Boden verdeckt, und Containerschiffe können sich mit Radar gegenseitig sowie kleinere Objekte im Wasser, z. B. Wassersportler, jederzeit orten. Außerdem kann Radar Objekte durchdringen und ist damit z. B. für die Bahn zur Überprüfung des Gleisbetts hochinteressant.

Im Verkehr ist Radar ja lange bekannt: Viele Autos haben Radar an Bord und jeder kennt die rotierenden Antennen auf Schiffen. Was bietet das Fraunhofer FHR hier Neues?

Ja, auch Radarsensoren mit Fraunhofer FHR-Antennendesign sind schon über 30 Millionen Mal in verschiedenen Fahrzeugtypen verbaut. Aber die Anforderungen ändern sich: Immer mehr Verkehrsteilnehmer sollen mit immer autonomeren Fahrzeugen sicher ans Ziel kommen. Dabei sollen die Sensoren möglichst klein, energie- und kosteneffizient sein und dürfen sich nicht gegenseitig stören. In modernen Autos sind mittlerweile bis zu 20 Antennen verbaut, auf militärischen Plattformen noch mehr! Da sind einerseits ganz neue Antennenkonzepte gefragt, wie miniaturisierte, perfekt in die Fahrzeugstruktur integrierte Sensoren bei Autos oder effiziente, nicht rotierende und damit wartungsarme Antennen auf Schiffen. Andererseits muss die Signalverarbeitung intelligenter werden und die Umgebung schneller und besser erkennen, während sich das System dafür laufend selbst an die Situation anpasst und sich mit anderen Sensoren abgleicht. Mit unserer enorm tiefen und breit aufgestellten Expertise in Sachen Hochfrequenzsysteme, elektromagnetische Simulation, Signalverarbeitung und Klassifizierung können wir den Kunden umfassende, genau auf ihren Bedarf zugeschnittene Lösungen bieten, angefangen bei der Beratung, über den Systementwurf und -test bis zum Prototyp und der Kleinserie.

Als Geschäftsfeldsprecher vermitteln Sie zwischen Industrie und den Experten am Institut. Was ist dabei die größte Herausforderung?

Mir hilft natürlich, dass ich selbst schon lange im Geschäftsfeld Verkehr aktiv bin, als Wissenschaftler und nebenamtlicher Geschäftsfeldsprecher und sowohl die Technologien als auch die Branche sehr gut kenne. Die Herausforderung ist, in beiden Richtungen am Ball zu bleiben: Sowohl nah am Puls der Branche, als auch fachlich den Überblick zu behalten. Nur so kann ich das Know-how intern bündeln, Bedarfe der Kunden aufdecken und erkennen und vermitteln, wie wir mit Radar helfen können.

Mit der neuen Aufgabe verzichten Sie nun ja auf eigene Forschungsaktivitäten. Werden Sie das vermissen?

Hier ist Joseph von Fraunhofer mein Leitbild: Er war auch Forscher und Unternehmer. Mein Forschergeist ist durch die neue Aufgabe nicht abgeschwächt und darf es auch gar nicht sein, um kompetenter Ansprechpartner für unsere Kunden zu bleiben. Das Rad dreht sich immer weiter und die neuesten Forschungsergebnisse bleiben für mich spannend. Ich sehe es als Aufgabe, wichtige Impulse aus der Wirtschaft in die Fraunhofer FHR-Forschungsplanung einzuspeisen.



Geschäftsfeldsprecher Verkehr

Dr.-Ing.

ANDREAS DANKLMAYER

Tel. +49 228 9435-350

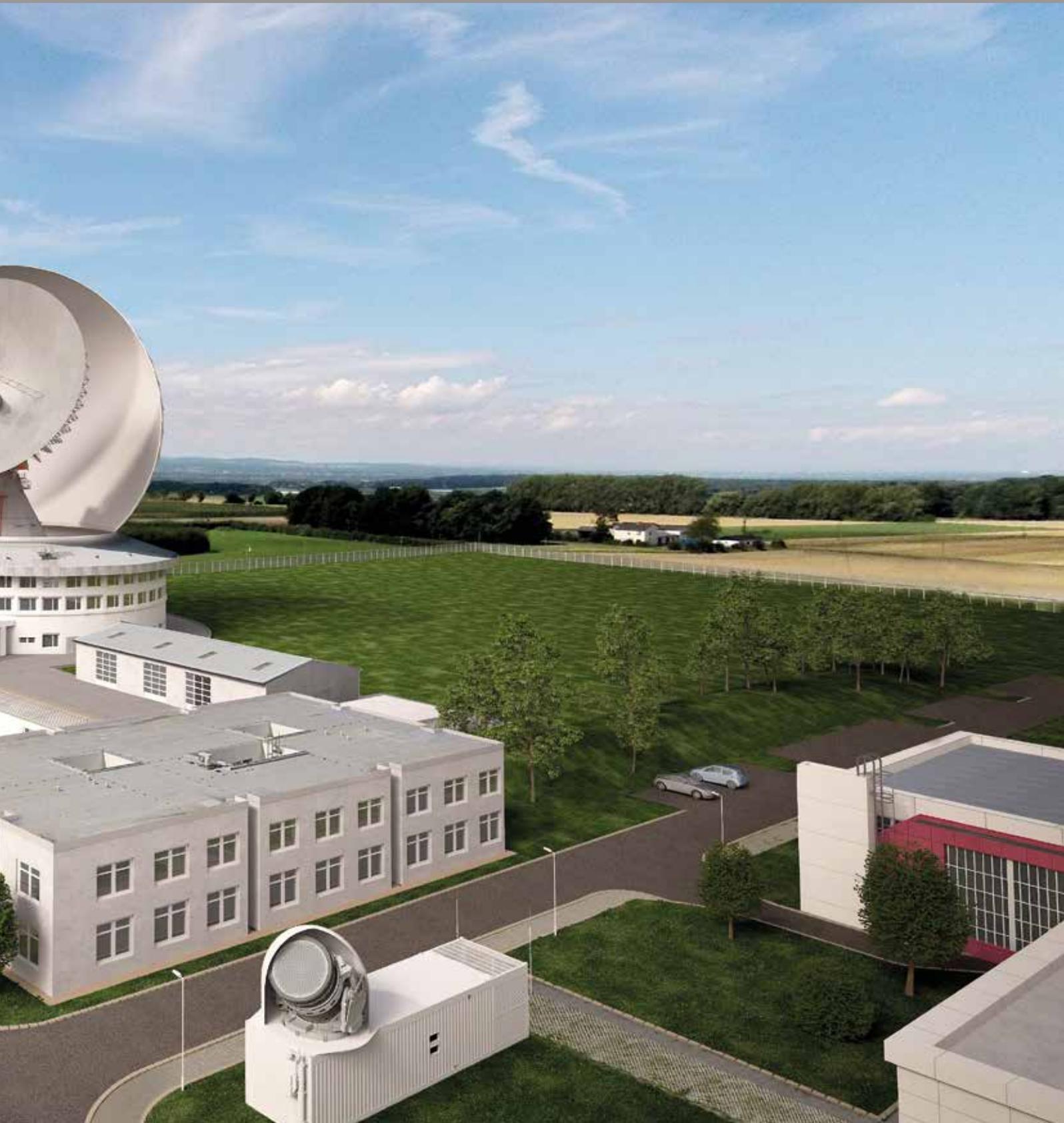
andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de

FRAUNHOFER FHR IM PROFIL

Das Fraunhofer FHR ist eines der führenden und größten europäischen Forschungsinstitute auf dem Gebiet der Hochfrequenz- und Radartechnik. Für seine Partner entwickelt das Institut maßgeschneiderte Konzepte, Verfahren und Systeme für elektromagnetische Sensorik vom Mikrowellen- bis in den unteren Terahertzbereich.

*Künstlerische Darstellung
der Fraunhofer FHR-Gebäude
mit offener TIRA- und
GESTRA-Antenne.*





Kernthema der Forschungsarbeiten am Fraunhofer FHR sind Sensoren für präziseste Abstands- oder Positionsbestimmung sowie bildgebende Systeme mit Auflösungen bis zu 3,75 mm. Das Anwendungsspektrum dieser Geräte reicht von Systemen für Aufklärung, Überwachung und Schutz bis hin zu echtzeitfähigen Sensoren für Verkehr und Navigation sowie Qualitätssicherung und zerstörungsfreies Prüfen. Dabei zeichnen sich die Systeme des Fraunhofer FHR durch Zuverlässigkeit und Robustheit aus: Radar- und Millimeterwellensensoren eignen sich auch unter rauen Umweltbedingungen für anspruchsvolle Aufgaben. Sie arbeiten bei hohen Temperaturen, Vibrationen oder Null-Sicht-Bedingungen aufgrund von Rauch, Dampf oder Nebel. Radar und artverwandte Hochfrequenzsysteme sind damit auch Schlüsseltechnologien für Verteidigung und Sicherheit. Hier unterstützt das Institut das Bundesministerium für Verteidigung (BMVg) seit der Institutsgründung 1957.

Die am Fraunhofer FHR entwickelten Verfahren und Systeme dienen einerseits der Erforschung neuer Technologien und Macharten. Andererseits entwickelt das Institut gemeinsam mit Unternehmen, Behörden und anderen öffentlichen Einrichtungen Prototypen zur Bewältigung bisher ungelöster Herausforderungen. Dabei liegt besonderes Augenmerk auf der Ausgereiftheit und Serientauglichkeit der Systeme, sodass diese gemeinsam mit einem Partner zeitnah in ein Produkt überführt werden können. Durch seine interdisziplinäre Aufstellung verfügt das Institut über das fachliche Know-how, um die gesamte Wertschöpfungskette von Beratung über Studien bis zur Entwicklung und Fertigung einer Nullserie abzudecken. Die verwendeten Technologien reichen von klassischer Hohlleiterbasis bis hin zu hochintegrierten Silizium-Germanium-Chips mit Frequenzen bis zu 300 GHz.

Die Fähigkeit der berührungslosen Messung und die Durchdringung von Materialien eröffnen viele Möglichkeiten zur Lokalisation von Objekten und Personen. In immer mehr An-

wendungsbereichen sind Hochfrequenzsensoren des Fraunhofer FHR mit ihren besonderen Fähigkeiten durch den Fortschritt der Miniaturisierung und Digitalisierung eine bezahlbare und attraktive Option.

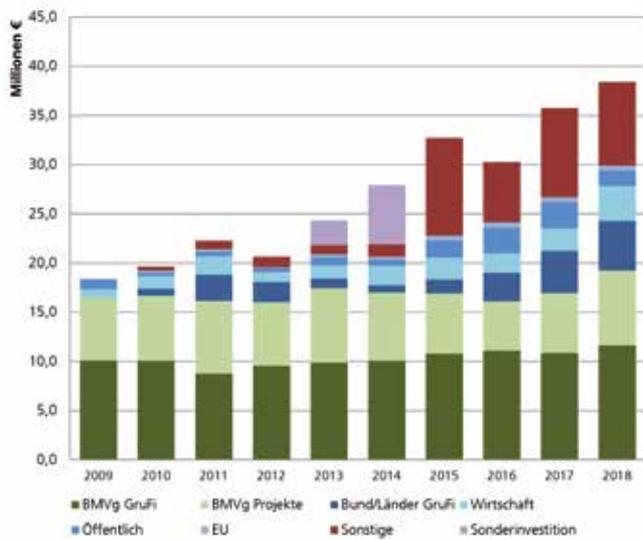
Personal- und Budgetentwicklung

Das Budget des Instituts ergibt sich aus mehreren Finanzierungsquellen: Der Grundfinanzierung durch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), der Projektfinanzierung aus Mitteln des Verteidigungshaushaltes und den Einkünften aus dem Vertragsforschungsbereich (VfA), der wiederum unterteilt werden kann in Wirtschaftserträge, öffentliche Erträge, EU-Erträge, sonstige und Grundfinanzierung von Bund und Ländern. Im Jahr 2018 erwirtschaftete das Fraunhofer FHR im wehrtechnischen und im zivilen Institutsteil einen Gesamtertrag in Höhe von 38,4 Mio. €.

Zum Jahresende 2018 waren am Fraunhofer FHR insgesamt 353 Mitarbeiter beschäftigt, ein Wachstum von 5,0 % im Vergleich zum Vorjahr. Davon sind 183 unbefristet und 126 Personen befristet beschäftigt. Hinzu kommen noch 44 Studierende und Auszubildende.



Budgetentwicklung 2009 - 2018

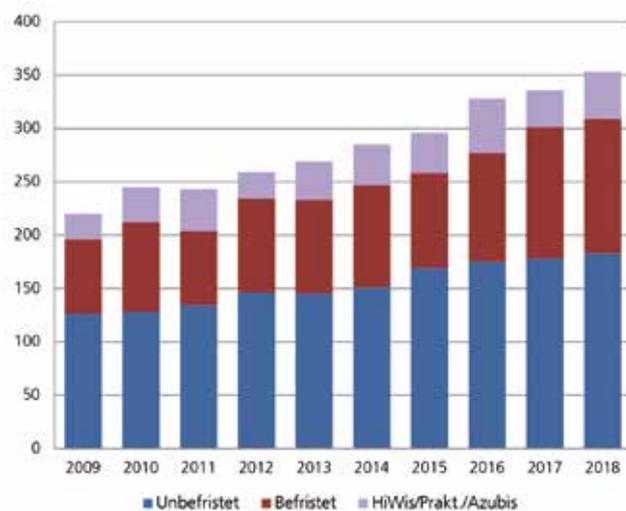


1 Foto von Fraunhofer FHR-Gebäuden und Welt- raumbeobachtungsradar TIRA in Wachtberg.

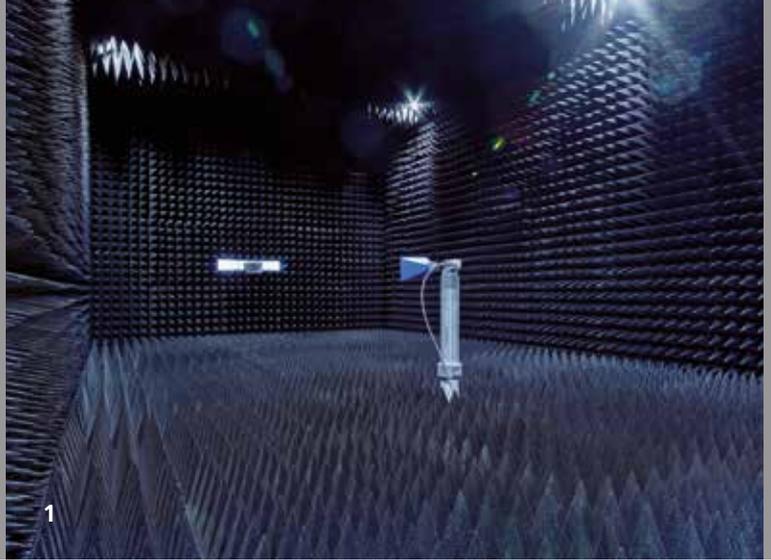


Geschäftsführender Institutsleiter:
 Prof. Dr.-Ing. Peter Knott
 Tel. +49 228 9435-227
 peter.knott@
 fhr.fraunhofer.de

Mitarbeiterentwicklung 2009 - 2018



Institutsleiter:
 Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling
 Tel. +49 228 9435-176
 dirk.heberling@
 fhr.fraunhofer.de



FMD@FHR: IHR ZUGANG ZU MODERNSTEN TECHNOLOGIEPARKS

Das Fraunhofer FHR hat als Teil der »Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland« (FMD) in 2018 rund 6 Millionen Euro in modernste Technik investiert. Die Mittel fließen in den Ausbau von Kompetenzen und Tätigkeiten zum Innovationsthema Mikroelektronik.

Im Rahmen der FMD fördert das Bundesforschungsministerium (BMBF) 13 Forschungseinrichtungen mit insgesamt rund 350 Millionen Euro. Über 2.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bilden in der FMD den größten standortübergreifenden Forschungs- und Entwicklungszusammenschluss für die Mikro- und Nanoelektronik in Europa.

In dieser neuartigen Kooperation werden die Vorteile zweier starker dezentraler Forschungsorganisationen – der Fraunhofer-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft – mit den Synergien einer zentralen Organisation verknüpft und bilden so den weltweit leistungsfähigsten Anbieter für angewandte Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich der Mikro- und Nanoelektronik. Durch die enge Verzahnung und das kohärente Auftreten kann die FMD somit nicht nur Kunden aus der Großindustrie, sondern gerade den kleinen und mittleren Unternehmen und Start-Ups einen umfassenderen und einfacheren Zugang zur nächsten Technologie-Generation bieten.

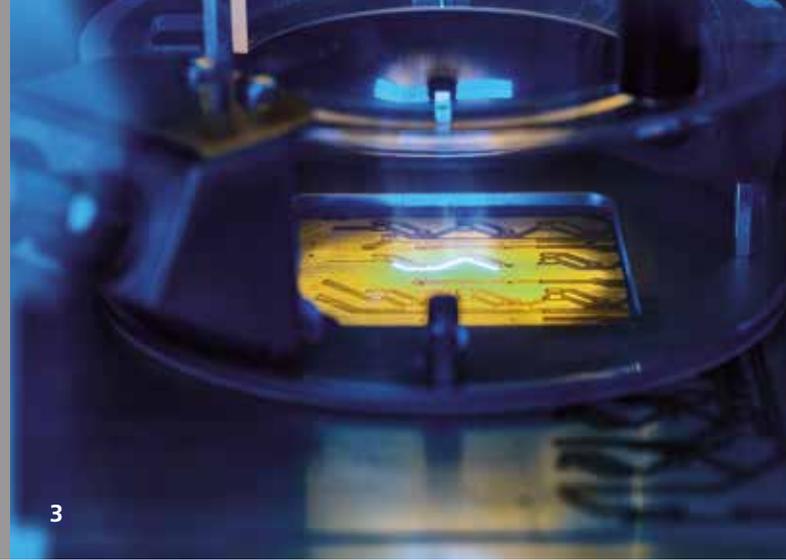
Zur Organisation dieser Kompetenzen und Ressourcen entstand 2018 ein institutsübergreifender *One-Stop-Shop* für alle Anfragen und Themen rund um die FMD in Berlin. Aber

auch am Fraunhofer FHR in Wachtberg hat sich 2018 dank der FMD einiges getan.

Rapid Prototyping & Additive Fertigung

In Projekten zeitnah erste anschauliche Demonstratoren realisieren, innovative Bauteilkonzepte direkt produzieren und überprüfen, vereinfachte Ersatzteilversorgung oder der Austausch von defekten Gehäusekomponenten: Das sind nur eine Handvoll Beispiele, bei denen Additive Fertigung heute zum Einsatz kommt.

2018 hat das Fraunhofer FHR daher seine Kapazitäten für die Additive Fertigung um 3D Drucker erweitert. Die Anwendungsmöglichkeiten sind für die Millimeterwellentechnologie vielfältig, denn additiv gefertigte Komponenten erlauben eine schnelle, wirtschaftliche Anpassung der entwickelten Radarsysteme. Insbesondere bei neuen Materialien fehlen häufig Informationen über die Materialeigenschaften im Millimeterwellenbereich, daher werden neue Materialien zuerst auf den hauseigenen Messplätzen über einen weiten Frequenzbereich charakterisiert. Danach lassen sich bspw. Hochfrequenzantennen komplett im 3D Drucker herstellen. Dieses Verfahren spart nicht nur Zeit und Kosten, die Systeme werden durch die Kunststoffteile auch leichter – ein wichtiger Faktor unter anderem bei luftgetragenen Systemen. Durch die Mischung verschiedener Materialien oder die Strukturierung im Subwellenlängenbereich können homogene und inhomogene Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes realisiert werden, welche neue Antennenformen mit mehr Freiheitsgraden ermöglichen.



Um diese Ansätze bestmöglich verfolgen zu können, steht für 2019 neben der weiteren Charakterisierung verschiedener Druckmaterialien auch die Anschaffung von drei Spezialdruckern an. Neben einem außergewöhnlich großen Bauraum von bis zu einem Kubikmeter plant das Fraunhofer FHR selektives Lasersintern (SLS), 3D-Druck mit Kunststoff- und Metallpulvern sowie die Erprobung eines 5-achsigen Metalldruckers.

Aufbautechnik & Heterointegration

Im Bereich der Heterointegration werden innerhalb des FMD-Vebundes Komponenten im Millimeterwellen- und Terahertz-Bereich hergestellt. Die institutsinterne Herstellung der für die Radarsysteme benötigten Platinen ermöglicht es, auf spezielle Belange sofort reagieren zu können und langfristig Kosten und Zeit zu sparen. Daher wurden im Rahmen der FMD verschiedene Geräte der Aufbautechnik angeschafft, unter anderem die in Abbildung 3 dargestellte Laserfräse. Der Laser arbeitet bei einer Wellenlänge von 355 nm und ermöglicht die Herstellung von Strukturen bis zu einer Auflösung von 20 µm. Für 2019 sind hier noch weitere Anschaffungen geplant.

Messlabor für höchstfrequente Radardemonstratoren

Um die Leistungsfähigkeit von Antennen, Teilsystemen und vollständigen Prototypen beurteilen zu können, ist eine echofreie Messkammer mit einem geeigneten Messsystem, bestehend aus Netzwerkanalysatoren und passenden Hochfrequenzmodulen, erforderlich. Im Rahmen der FMD wurde in ein Messlabor im Millimeterwellenbereich investiert. Abbildung 1 zeigt die Innenansicht der Messkammer mit einer Messvorrichtung zur Antennencharakterisierung. Der Sender befindet sich hinter den Durchführungen zur Messkammer. Der Empfänger wird in einem Abstand von bis zu 6 m positioniert und lässt sich in einem Winkelbereich von 360° mit einer Schrittweite von unter 0.5° rotieren. Für eine quasimonostatische Messung ließe sich anstelle des Empfängers auch ein Objekt montieren, dessen Radarrückstreuquerschnitt (RCS) bestimmt werden soll. Des Weiteren können unter Verwendung von Referenzobjekten Radarsysteme getestet und charakterisiert werden.

Im Messlabor können Messungen für Frequenzen oberhalb von 20 GHz unter kontrollierten Umgebungsbedingungen durchgeführt werden. Störeinflüsse auf die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen werden minimiert und so eine Prüfung und Evaluation der Komponenten ermöglicht.

1 Innenansicht der Messkammer in der Konfiguration zur Vermessung einer Antenne.

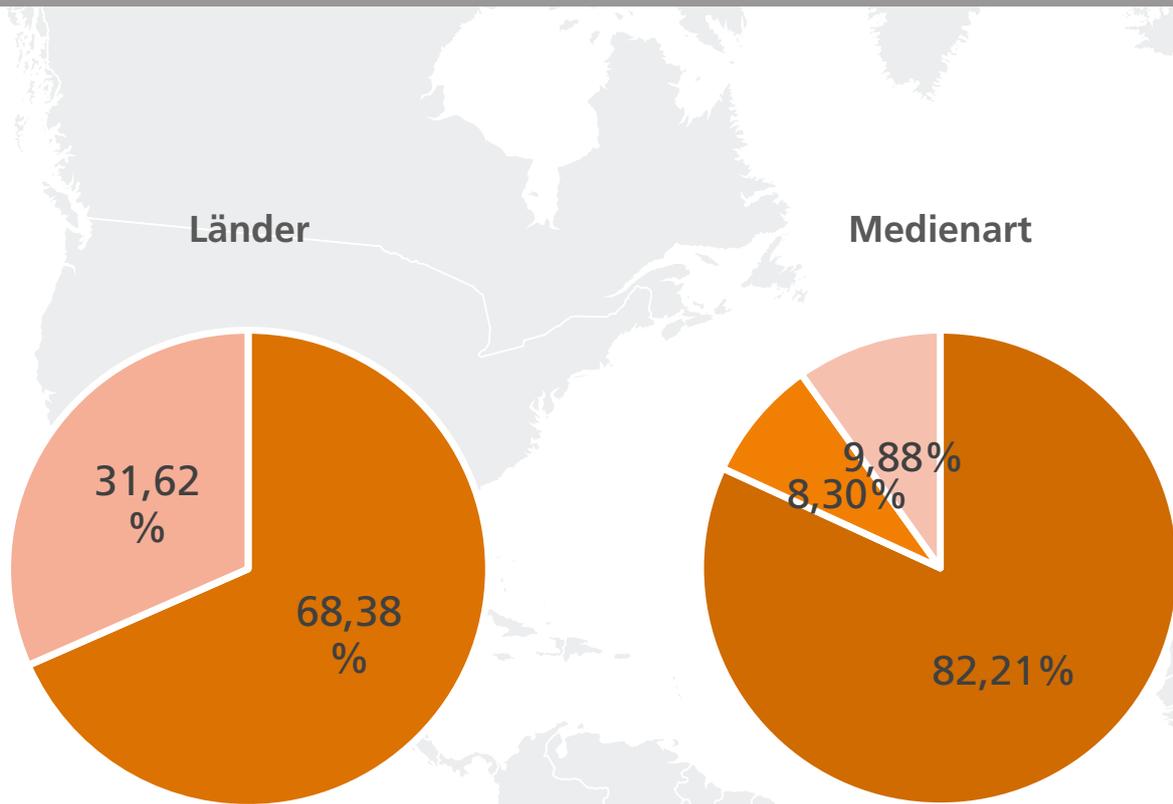
2 3D-gedruckte Antennen (links) bieten gleiche Performance bei geringerem Gewicht und geringeren Fertigungskosten als konventionelle Teflon-Antennen (Mitte & rechts).

3 Laserfräse LPKF ProtoLaser U4 bei der Bearbeitung einer Platine.



Daniel Behrendt
Tel. +49 228 9435-887
daniel.behrendt@
fhr.fraunhofer.de

FRAUNHOFER FHR IN DEN MEDIEN



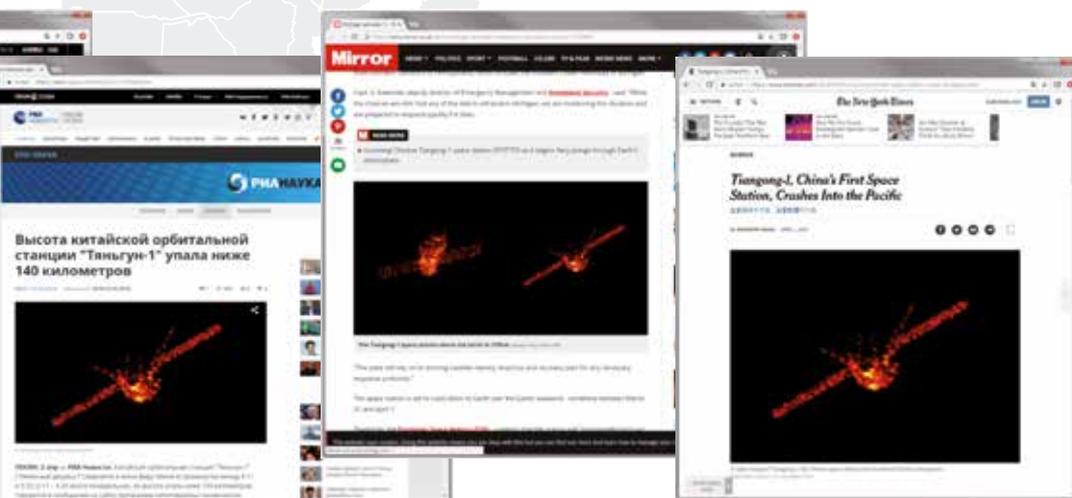
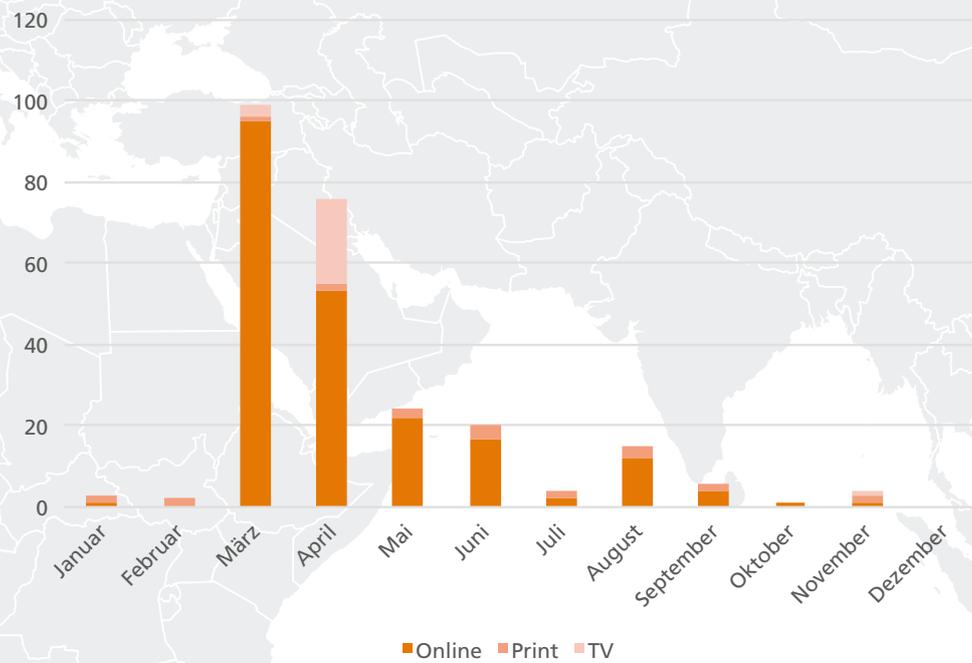
- National
- International
- Online
- Print
- TV



Presseinformationen des Fraunhofer FHR



Meldungen mit Fraunhofer FHR in 2018



An Ostern 2018 ist die chinesische Raumstation Tiangong-1 in die Erdatmosphäre eingetreten und abgestürzt. Die Begleitung durch das Fraunhofer FHR mit den einzigartigen Radarabbildungen wurde weltweit in den Leitmedien verbreitet.

IHRE ANSPRECHPARTNER

STAND: APRIL 2019

Kuratorium

Vorsitzender

Dipl.-Ing. Gunnar W. R. Pappert
Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG



Geschäftsführender Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing. PETER KNOTT
Tel. +49 228 9435-227
peter.knott@fhr.fraunhofer.de

Geschäftsfelder

Antennentechnologie und elektromagnetische Modellierung (AEM)



Dr.-Ing. FRANK WEINMANN
Tel. +49 228 9435-223
frank.weinmann@fhr.fraunhofer.de

Array-gestützte Radarbilddgebung (ARB)



Dr.-Ing. ANDREAS BRENNER
Tel. +49 228 9435-531
andreas.brenner@fhr.fraunhofer.de

Höchstfrequenz-Radar und Anwendungen (HRA)



Dr. rer. nat. STEPHAN STANKO
Tel. +49 228 9435-704
stephan.stanko@fhr.fraunhofer.de

Integrierte Schaltungen und Sensorsysteme (ISS)



Dr.-Ing. DIRK NÜBLER
Tel. +49 228 9435-550
dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de

Kognitives Radar (KR)



Dr.-Ing. STEFAN BRÜGGENWIRTH
Tel. +49 228 9435-173
stefan.brueggewirth@fhr.fraunhofer.de

Verteidigung

Dr.-Ing. UDO USCHKERAT



Tel. +49 151 721 243 27
udo.uschkerat@fhr.fraunhofer.de

Elektromagnetische Modellierung

Dr.-Ing. FRANK WEINMANN



Tel. +49 228 9435-223
frank.weinmann@fhr.fraunhofer.de

Multifunktionale Hochfrequenzsensoren

Dipl.-Ing. HELMUT WILDEN



Tel. +49 228 9435-316
helmut.wilden@fhr.fraunhofer.de

Millimeterwellen-SAR und Algorithmik

Dr. rer. nat. MICHAEL CARIS



Tel. +49 228 9435-353
michael.caris@fhr.fraunhofer.de

Industrialisierte Hochfrequenztechnologie

Dipl.-Ing. CHRISTIAN KREBS



Tel. +49 228 9435-775
christian.krebs@fhr.fraunhofer.de

Nicht-kooperative Identifizierung

Dr. rer. nat. TANJA BIEKER



Tel. +49 228 9435-634
tanja.bieker@fhr.fraunhofer.de

Weltraum

Dr.-Ing. DELPHINE CERUTTI-MAORI



Tel. +49 228 9435-290
delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de

Antennen und Front-End-Technologie

Dr.-Ing. THOMAS BERTUCH



Tel. +49 228 9435-561
thomas.bertuch@fhr.fraunhofer.de

Sensornaher Digitaltechnologie

Dipl.-Ing. (FH) CLAUS KIRCHNER



Tel. +49 228 9435-203
claus.kirchner@fhr.fraunhofer.de

Submillimeterwellen-Radar

Dipl.-Ing. DENIS NÖTEL



Tel. +49 228 9435-578
denis.noetel@fhr.fraunhofer.de

Eingebettete Systeme und Algorithmen

Dipl.-Ing. ANDRIES KÜTER



Tel. +49 228 9435-134
andries.kueter@fhr.fraunhofer.de

UWB-Radar

Dr.-Ing. FERNANDO RIAL VILLAR



Tel. +49 228 9435-770
fernando.rial@fhr.fraunhofer.de

Sicherheit

Dr. rer. nat. JENS KLARE



Tel. +49 228 9435-311
jens.klare@fhr.fraunhofer.de

Technik und Sicherheit

Dipl.-Ing. (FH) STEFAN VORST



Tel. +49 228 9435-444
stefan.vorst@fhr.fraunhofer.de

Signalverarbeitung für Weltraumüberwachung

Dr.-Ing. ROBERT KOHLEPPEL



Tel. +49 228 9435-392
robert.kohleppel@fhr.fraunhofer.de

Signaturen und Aufklärung

Dipl.-Ing. GREGOR BIEGEL



Tel. +49 228 9435-581
gregor.biegel@fhr.fraunhofer.de

3D Sensorsysteme

Dr.-Ing. REINHOLD HERSCHEL



Tel. +49 228 9435-582
reinhold.herschel@fhr.fraunhofer.de

Adaptive Wahrnehmung

Dr. rer. nat. MARÍA GONZÁLEZ-HUICI



Tel. +49 228 9435-708
maria.gonzalez@fhr.fraunhofer.de

Verkehr

Dr.-Ing. ANDREAS DANKLMAYER



Tel. +49 228 9435-350
andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de

Adaptive Array-Signalverarbeitung

Dr. rer. nat. WOLFRAM BÜRGER



Tel. +49 228 9435-220
wolfram.buerger@fhr.fraunhofer.de

Chip Design

Prof. Dr.-Ing. NILS POHL



Tel. +49 228 9435-147
nils.pohl@fhr.fraunhofer.de

Radararchitekturen

Dr.-Ing. STEFAN BRÜGGENWIRTH



Tel. +49 228 9435-173
stefan.brueggewirth@fhr.fraunhofer.de

Produktion

DANIEL BEHRENDT



Tel. +49 228 9435-887
daniel.behrendt@fhr.fraunhofer.de

Bildgebende Radar-Verfahren

Dr.-Ing. PATRICK BERENS



Tel. +49 228 9435-641
patrick.berens@fhr.fraunhofer.de

Mensch und Umwelt

Prof. Dr. rer. nat. JENS BONGARTZ



Tel. +49 2642 932-427
bongartz@hs-koblenz.de

Array-Systemtechnologie

Dipl.-Ing. OLAF SAALMANN



Tel. +49 228 9435-395
olaf.saalman@fhr.fraunhofer.de



Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing. DIRK HEBERLING
Tel. +49 228 9435-176
dirk.heberling@fhr.fraunhofer.de

Institutsleiter

IHF - Institut für Hochfrequenztechnik
RWTH Aachen

Passives und störfestes Radar (PSR)

 Prof. Dr. DANIEL O'HAGAN
Tel. +49 228 9435-389
daniel.ohagan@fhr.fraunhofer.de

Radar zur Weltraumbeobachtung (RWB)

 Dr.-Ing. LUDGER LEUSHACKE
Tel. +49 228 9435-200
ludger.leushacke@fhr.fraunhofer.de

Forschungsgruppen

 Prof. Dr.-Ing. DIRK HEBERLING
Tel. +49 228 9435-227
dirk.heberling@fhr.fraunhofer.de

Verwaltung

 JÜRGEN NEITZEL
Tel. +49 228 9435-215
juergen.neitzel@fhr.fraunhofer.de

Stabsstellen

Passive Sensorik und elektronische Gegenmaßnahmen

Dipl.-Math. JOSEF WORMS
Tel. +49 228 9435-216
josef.worms@fhr.fraunhofer.de

Verfahren zur Weltraumbeobachtung

Dr.-Ing. LUDGER LEUSHACKE
Tel. +49 228 9435-200
ludger.leushacke@fhr.fraunhofer.de

Forschungsgruppe Aachen

Dr.-Ing. THOMAS DALLMANN
Tel. +49 241 80-22271
thomas.dallmann@fhr.fraunhofer.de

Finanzen

Dipl.-Kff. (FH) MONIKA BRAUNS
Tel. +49 228 9435-565
monika.brauns@fhr.fraunhofer.de

Business Development

Dr. rer. nat. FRANK LORENZ
Tel. +49 170 365 8802
frank.lorenz@fhr.fraunhofer.de

Passiver Sensorverbund

Dr.-Ing. DIEGO CRISTALLINI
Tel. +49 228 9435-585
diego.cristallini@fhr.fraunhofer.de

TIRA - Radartechnik, Weiterentwicklung und Betrieb

Dr.-Ing. LUDGER LEUSHACKE
Tel. +49 228 9435-200
ludger.leushacke@fhr.fraunhofer.de

Forschungsgruppe Integrierte Radarsensoren

Prof. Dr.-Ing. NILS POHL
Tel. +49 234 32-26495
nils.pohl@fhr.fraunhofer.de

Einkauf

HARTMUT SCHMIDT
Tel. +49 228 9435-331
hartmut.schmidt@fhr.fraunhofer.de

Informationstechnik

MICHAEL BUSSMANN
Tel. +49 228 9435-211
michael.bussmann@fhr.fraunhofer.de

Experimentalsysteme

Dipl.-Ing. (FH) JOCHEN SCHELL
Tel. +49 228 9435-396
jochen.schell@fhr.fraunhofer.de

TIRA - Antennensystem und Infrastruktur

Dipl.-Ing. JÜRGEN MARNITZ
Tel. +49 228 9435-248
juergen.marnitz@fhr.fraunhofer.de

Forschungsgruppe Hochfrequenzsensoren und Radarverfahren

Prof. Dr.-Ing. JOACHIM ENDER
Tel. +49 228 9435-226
joachim.ender@fhr.fraunhofer.de

Personal

JOHANNES NELLES
Tel. +49 228 9435-526
johannes.nelles@fhr.fraunhofer.de

Interne und externe Kommunikation

Dipl.-Volksw. JENS FIEGE
Tel. +49 151 613 653 67
jens.fiege@fhr.fraunhofer.de

Passive Coherent Location

STEPHAN SANDENBERGH
Tel. +49 228 9435-418
stephan.sandenbergh@fhr.fraunhofer.de

Weltraumaufklärung

Dr.-Ing. DELPHINE CERUTTI-MAORI
Tel. +49 228 9435-290
delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de

Gebäudemanagement

THOMAS SENDER
Tel. +49 228 9435-221
thomas.sender@fhr.fraunhofer.de

Patente / Schutzrechte

Dipl.-Ing. (FH) ALEXANDER STUCKERT
Tel. +49 228 9435-278
alexander.stuckert@fhr.fraunhofer.de

Personalentwicklung

M. Sc. HANNE BENDEL
Tel. +49 151 220 864 29
hanne.bendel@fhr.fraunhofer.de

Sicherheit

Ass. jur. GLORIA POST
Tel. +49 228 9435-201
gloria.post@fhr.fraunhofer.de

Werkstatt

CHRISTOPH PESCHEL
Tel. +49 228 9435-231
christoph.peschel@fhr.fraunhofer.de

ÜBERBLICK



DAS KURATORIUM

Das Kuratorium begleitet unsere Forschungsarbeit und berät den Institutsleiter und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Mitglieder unseres Kuratoriums aus Industrie, Wissenschaft und Ministerien sind:

Vorsitzender

Dipl.-Ing. Gunnar W. R. Pappert

Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG
Überlingen

Dr. Gerhard Elsbacher
MBDA Deutschland GmbH
Schrobenhausen

MinRat Norbert Michael Weber
Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)
Bonn

Hans Hommel
Hensoldt
Ulm

Winfried Wetjen
OHB-System AG
Bremen

Dr. Holger Krag
ESA / ESOC
Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. habil. Otmar Loffeld
Universität Siegen
Siegen

Prof. Dr.-Ing. Ilona Rolfes
Ruhr-Universität Bochum
Bochum

Die Teilnehmer der Kuratoriumssitzung am 29.6.2018 auf dem Institutsgelände in Wachtberg: Prof. Loffeld, Dr. Krag, Herr Hommel, Herr Pappert, Prof. Martini (Institutsleiter Fraunhofer FKIE), Herr Neppig, Prof. Knott (Institutsleiter Fraunhofer FHR), Dr. Weber (Fraunhofer Zentrale), Dr. Roth (Fraunhofer-Zentrale), Prof. Rohling, Dr. Elsbacher, Prof. Heberling (Institutsleiter Fraunhofer FHR).

GESCHÄFTSFELDER



VERTEIDIGUNG

Smart, modular, multi-modal und kompakt – das sind die Anforderungen an künftige Radarsysteme und schon seit vielen Jahren Forschungsschwerpunkte am Fraunhofer FHR. Neben Techniken zur Überwachung und Aufklärung untersuchen die Wissenschaftler auch neuartige Konzepte zum Tarnen und Härten des eigenen Radars sowie zur Täuschung und Störung gegnerischer Systeme. Mit seinem umfassenden Know-how deckt das Fraunhofer FHR die gesamte Bandbreite des Themenbereichs Hochfrequenz- und Radartechnik zur Verteidigung ab.

Geschäftsfeldsprecher: Dr.-Ing. Udo Uschkerat

+49 151 721 243 27, udo.uschkerat@fhr.fraunhofer.de

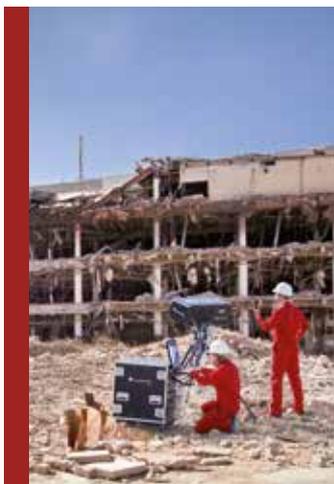


WELTRAUM

Auf dem Gebiet der Weltraumbeobachtung mit Radar ist das Fraunhofer FHR eines der führenden Forschungsinstitute. Mit TIRA verfügt das Institut über ein nahezu einzigartiges System zur Weltraumaufklärung. Für eine kontinuierliche Überwachung des Weltraums entwickelt das Fraunhofer FHR derzeit GESTRA im Auftrag des DLR-Raumfahrtmanagements. Das Fraunhofer FHR vereint die gesamte Systemkette der Weltraumbeobachtung mit Radar unter einem Dach und kann seinen Partnern alles aus einer Hand liefern.

Geschäftsfeldsprecherin: Dr.-Ing. Delphine Cerutti-Maori

+49 228 9435-290, delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de



SICHERHEIT

Die Erforschung zukunftsweisender Sicherheitslösungen ist seit jeher ein Schwerpunkt am Fraunhofer FHR. Den Fokus legt das Institut auf die Entwicklung von kompakten Sensortechnologien, um Einsatzkräfte mit detaillierten Lagebildern und Informationen zu versorgen – in Echtzeit und bei jedem Wetter. Radarsysteme eignen sich besonders für den Einsatz an schwer zugänglichen Unglücksorten und im Bereich der Prävention zur Entdeckung von Sprengvorrichtungen, Waffen und unautorisierten Objekte (z. B. Drohnen).

Geschäftsfeldsprecher: Dr. rer. nat. Jens Klare

+49 228 9435-311, jens.klare@fhr.fraunhofer.de



VERKEHR

Für Anwendungen im Luft-, See- und Straßenverkehr bietet Radar vielfältige Möglichkeiten. Das Fraunhofer FHR untersucht in unterschiedlichsten Projekten, wie sich dieses Potenzial erschließen lässt. Den Partnern steht ein umfangreiches Leistungsportfolio zur Verfügung: Von Technologie-Beratung bis zu Entwurf, Konstruktion und Prototypenbau. Die Arbeiten des Fraunhofer FHR sind darauf ausgerichtet, Fragestellungen bei der Entwicklung eines neuen Systems zügig und zeitnah zu lösen.

Geschäftsfeldsprecher: Dr.-Ing. Andreas Danklmayer

+49 228 9435-350, andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de



PRODUKTION

Innovative, maßgeschneiderte Sensorik für Produktion und Industrie ist seit vielen Jahren ein Schwerpunktthema am Fraunhofer FHR. Das Institut forscht an kompakten Sensoren für Qualitätskontrolle in Echtzeit. Neben in-line-Fähigkeit und Zuverlässigkeit ist der Preis ein wesentlicher Faktor bei der Entwicklung. Ziel der Aktivitäten im Geschäftsfeld Produktion ist es, mit modernster Technologie einen wesentlichen Beitrag zur besseren Erfassung von Fertigungsparametern zu leisten und dem Projektpartner so auch in Zukunft einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen.

Geschäftsfeldsprecher: Daniel Behrendt

+49 228 9435-887, daniel.behrendt@fhr.fraunhofer.de



MENSCH UND UMWELT

Radar kann durch seine Präzision und sein berührungsloses, durchdringendes Funktionsprinzip ganz neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen. Selbst hochauflösende Bildgebung ist auch aus großen Entfernungen möglich. Bei seinen Forschungen untersucht das Institut auch Anwendungsfelder in den Bereichen Gesundheit, Medizintechnik, Umwelt- und Geomonitoring.

Geschäftsfeldsprecher: Prof. Dr. rer. nat Jens Bongartz

+49 2642 932-427, bongartz@hs-koblenz.de

MULTIFUNKTIONALE KOHÄRENTE RADARVERBÜNDE

Durch die Erschließung höherer Frequenzbereiche lassen sich bildgebende Radarsysteme miniaturisiert und kostengünstig aufbauen. Der Betrieb mehrerer derartiger Systeme kooperativ im Verbund führt zu verbesserten Aufklärungsfähigkeiten, einer reduzierten Verwundbarkeit sowie zusätzlichen Einsatzmöglichkeiten.

In den letzten Jahrzehnten wurden bildgebende Radarsensoren entwickelt, die basierend auf dem Synthetic Aperture Radar (SAR)-Prinzip hochaufgelöste Abbildungen einer Szene erzeugen können. Diese agieren je nach Anwendungsfall luft- oder raumgestützt mit Wellenlängen im Bereich weniger Zentimeter, wie bspw. mit 3 cm im X-Band. Derartige Sensoren sind in der Regel hochkomplex, leistungshungrig und großvolumig, so dass ihr Betrieb den Einsatz eines größeren Trägers erfordert. Dank der Entwicklung neuester Komponenten können SAR-Systeme heute auch für höhere Frequenzen aufgebaut werden. Beschränkt man sich dabei gleichzeitig auf die grundlegenden Fähigkeiten, sind kostengünstige Mini-Sensoren realisierbar. So können Sensoren im W-Band, die bei Wellenlängen um 3,2 mm arbeiten, auf Standarddrohnen betrieben werden.

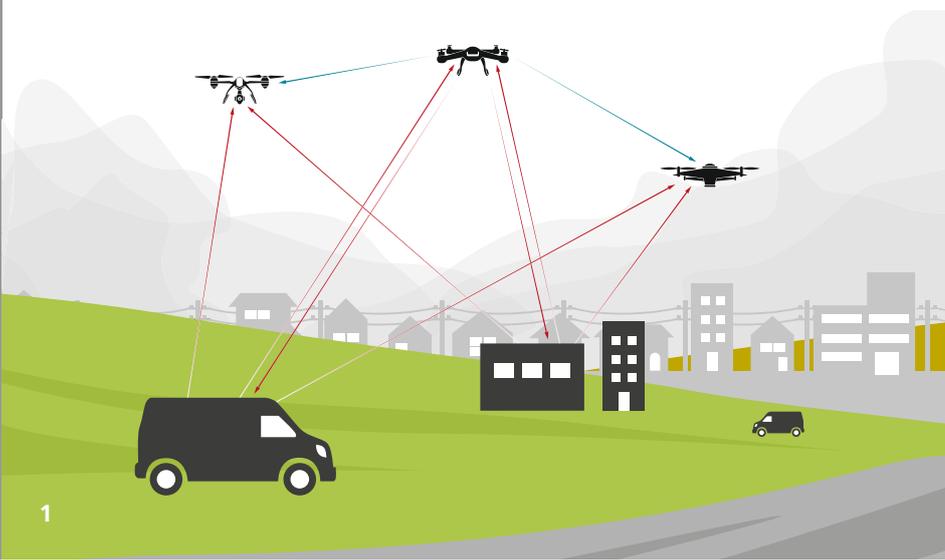
Da der Aufbau und der Betrieb eines herkömmlichen Systems im X-Band mit erheblichem Aufwand verbunden sind, wird dieses in der Regel stand-alone rein monostatisch betrieben. Für die kostengünstige Kombination aus W-Band-Sensor und Standarddrohne bietet es sich hingegen an, die Performance durch den Einsatz mehrerer derartiger Teilsysteme zu verbes-

sern. Dabei ergeben sich diverse Vorteile:

1. Der kooperative Betrieb unterschiedlicher Teilsysteme ermöglicht bi- oder multistatische Aufnahmen, die einen Informationsgewinn beinhalten, da andere Aspekte der abgebildeten Szenen zutage treten.
2. Durch die inhärente Verteilung der Gesamtfähigkeit auf mehrere Drohnen wird die Robustheit verbessert und die Verwundbarkeit reduziert.
3. Es bietet eine leichte Skalierbarkeit, bei der durch die Anzahl der eingesetzten Sensoren und Drohnen z. B. die aufgeklärte Fläche, die Häufigkeit der Beobachtungen oder die Diversität der Beobachtungsrichtungen an konkrete Bedürfnisse angepasst werden kann. So kann der kohärente Radarverbund bei verschiedensten Aufklärungsaufgaben eingesetzt werden.

Herausforderungen der kabellosen Hardwaresynchronisierung bei Millimeterwellen-UAV-SAR-Sensoren

Ein wesentlicher Aspekt der Hardwareentwicklung für ein drohnengetragenes multikohärentes Radarnetzwerk ist die Synchronisierung der Sendesysteme im Millimeterwellenbereich. Um das Gesamtsystem möglichst klein und leicht zu halten, wird der Frequenzbereich von etwa 94 GHz gewählt. Die Wahl einer frequenzmodulierten Signalförmigkeit dient der Energieeffizienz. Beides sind notwendige Nebenbedingungen für den Betrieb auf einer Drohne. Die geringe Wellenlänge verursacht dabei besondere Herausforderungen an die Techniken, denn es müssen verschiedene abgesetzte Radarsensoren so phasenstarr synchronisiert werden, dass ein hochauflösender SAR-Betrieb durch die Prozessierung gewährleistet werden kann.



1

Um hohe Abtastraten der Zwischenfrequenz zu vermeiden, müssen diverse Synchronisierungsvorgänge bereits auf Hardwareebene in Echtzeit durchgeführt werden. Damit wird sichergestellt, dass sowohl das durch den sekundären Empfänger empfangene direkte wie auch das vom zu vermessenden Objekt reflektierte indirekte Signal im schmalen Zwischenfrequenzbandbereich zu liegen kommen, um dort abgetastet zu werden. Die Synchronisierung muss kabellos erfolgen, gleichzeitig aber im Millimeterwellenbereich phasenstabil sein. Hierfür ist die Entwicklung neuer Techniken erforderlich.

Herausforderungen der Signalverarbeitung für bildgebende verteilte Radarsensoren im Millimeterwellenbereich

Für die Bildrekonstruktion bei unterschiedlichen Flugkonstellationen bietet sich die Rekonstruktion im Zeitbereich an. Aufgrund der Nutzung von Drohnen als Sensorträger in Verbindung mit leichten und kostengünstigen Systemen zur Positions- und Lagebestimmung, verbleiben unbekannte Laufzeiten des Radarsignals, die durch die Verwendung geeigneter Verfahren zur Autofokussierung kompensiert werden. Darüber hinaus weist aber auch das direkte Signal, welches als Basis der Synchronisation auf Hardwareebene dient, einen unbekanntem Laufzeitfehler auf, der im Rahmen der Autofokussierung als zusätzlicher Parameter zu ermitteln und zu korrigieren ist.

Für eine operationelle Nutzung sind weitere Fragestellungen zu behandeln. Da der Einsatz von Zeitbereichsverfahren einen hohen Rechenaufwand mit sich bringt, müssen erprobte Verfahren parallelisiert oder schnelle Verfahren implementiert werden, so dass akzeptable Laufzeiten erzielt werden.

1 *Leichte, luftgestützte Radarsensoren, die im Verbund miteinander operieren, bieten Vorteile für die Aufklärung. Die Synchronisierung erfolgt mit Hilfe des direkten Signals.*



*Dr.-Ing.
Patrick Berens
Tel. +49 228 9435-641
patrick.berens@
fhr.fraunhofer.de*

*Dr. rer. nat
Stephan Stanko
Tel. +49 228 9435-704
stephan.stanko@
fhr.fraunhofer.de*



RADARBILDBASIERTE NAVIGATION VON DROHNEN

Wesentlich für die Navigation von Aufklärungsdrohnen ist die Verlässlichkeit auf die vorhandenen Navigationssysteme. Wird das globale Satellitennavigationssystem gestört, so kann das inertielle Navigationssystem mithilfe eines Verfahrens in Echtzeit prozessierter Radarbilder zur radarbildbasierten Navigation gestützt und die Genauigkeit verbessert werden.

Da in Krisengebieten häufig die globalen Satellitennavigationssysteme lokal gestört werden, können diese nicht zur Navigation benutzt werden. Die Navigation von Fluggeräten kann dann unter schlechten Sichtbedingungen nur noch anhand der Daten des inertialen Navigationssystems erfolgen. Dieses System besteht aus Laserkreisel und Beschleunigungssensoren. Die Position wird aus der Integration dieser Sensorinformationen berechnet. Selbst wenn diese Systeme heute hochgenau arbeiten, so bleibt immer ein Restfehler, der sich mit der Zeit zu einer größeren Positionsabweichung aufsummiert.

Militärische Aufklärungsdrohnen verfügen häufig über ein allwettertaugliches, bildgebendes Radarsystem, das primär zur Aufklärung eingesetzt wird. Aufgrund der mittlerweile verfügbaren Rechenleistung können Radarbilder reduzierter Auflösung bereits an Bord der Drohne in Echtzeit prozessiert und mit digitalem Kartenmaterial verglichen werden. Werden markante Objekte wie beispielsweise Straßenkreuzungen, Flüsse oder Seen detektiert, so können sie mit dem Kartenmaterial zur Deckung gebracht und somit die genaue Position von

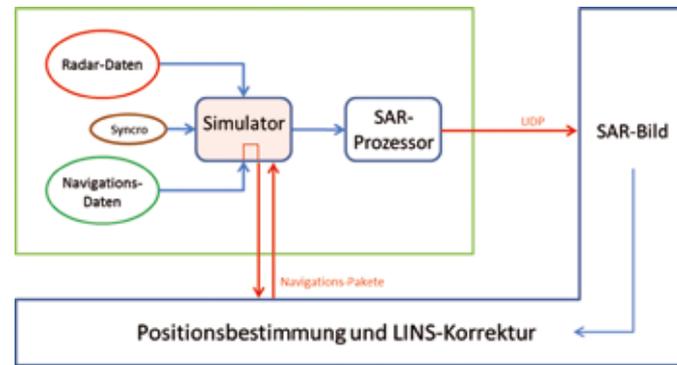
Fixpunkten bestimmt werden. Sind mehrere dieser Fixpunkte vorhanden, so kann hieraus aufgrund der bekannten Geometrie aus Messentfernungen und Blickwinkeln auf die aktuelle Position der Drohne geschlossen werden.

Durch Kalman-Filterung der Navigationsdaten und der durch das Matching von Radarbildern mit dem Kartenmaterial erzeugten Stützstellen der Position kann das Navigationssystem der Drohne korrigiert und gestützt werden. Ein Weglaufen der Position über die Zeit wird somit verhindert.

Zwar kann durch dieses Verfahren die Genauigkeit der Satellitennavigationssysteme nicht erreicht werden, allerdings ist es mit Hilfe dieses Navigationsverfahrens möglich, eine Mission in einem Gebiet mit gestörtem Satellitennavigationssystem in hinreichender Präzision durchzuführen. Die Genauigkeit der Navigation ist hierbei abhängig von der Präzision der Echtzeit-Radarbilderzeugung sowie von der Anzahl, Lage und Positionsgenauigkeit der gefundenen Fixpunkte.

Grundlage für die radarbasierte Navigation ist ein bildgebender Radarsensor mit einer Auswertung in Echtzeit. Am Fraunhofer FHR wurde dazu das Radarsystem MIRANDA-35 verwendet. Es arbeitet bei einer Mittenfrequenz von 35 GHz und einer Bandbreite von bis zu 1500 MHz. Außerdem verfügt es über eine Datenübertragungsstrecke zur Bodenstation, über die das Radar gesteuert und die Bilder des Online-Prozessors übertragen werden.

Für die Erprobung des Verfahrens zur radarbildbasierten Navigation wurden zwei geeignete Datensätze über eine



3

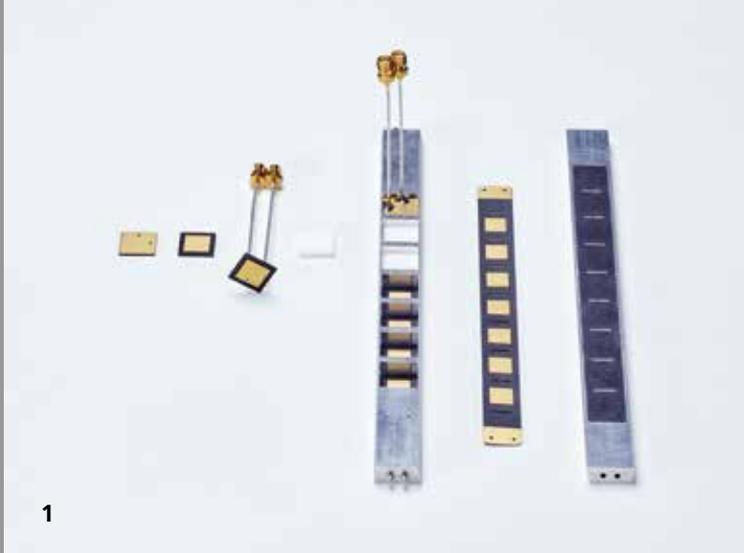
Flugstrecke von jeweils etwa 100 km nebst zugehörigen Navigationsrohdaten aufgezeichnet. Auf diesen Datensätzen erfolgte die weitere Verarbeitung zunächst offline, um die Verfahren und Routinen ausgiebig und wiederholbar testen zu können. Zuerst wurde dazu von der Firma IGI, dem Hersteller des Navigationssystems, das GPS-Signal aus den Navigationsrohdaten herausgerechnet. Somit wurde ein Navigationsdatensatz erzeugt, wie er bei einem Ausfall des Satellitennavigationssystems entstanden wäre. Damit standen für jeden SAR-Datensatz zwei Navigationsdatensätze zur Verfügung, zum einen der originale Datensatz mit vorhandenem Satellitennavigationssystem, zum anderen der angepasste Datensatz ohne nutzbares GPS-Signal.

Nachfolgend wurden die angepassten Navigationsdatensätze zusammen mit dem Radarrohdatensatz wieder in den SAR-Prozessor eingespeist und prozessiert. Die erzeugten Radarbilder wurden an einen Rechner des Projektpartners Airbus übertragen, wo das Matching mit dem Kartenmaterial und anschließend die Positionsbestimmungen stattfanden. Die Ergebnisse dieser Positionsbestimmungen wurden zusammen mit den Daten der Navigationsanlage an einen Kalman-Filter übergeben, der die Navigationsdaten entsprechend korrigiert und die Korrekturwerte wiederum in den SAR-Prozessor einspeist.

Es konnte gezeigt werden, dass eine Stützung des bordeigenen Navigationssystems mithilfe von Radarbildern möglich ist. Obwohl die Genauigkeit eines Satellitennavigationssystems nicht erreicht werden kann, wird ein stetes Weglaufen der Position wirkungsvoll verhindert. Die erzielbare Positionsgenauigkeit ist für den reibungslosen Missionsablauf mehr als ausreichend und kann über die komplette Missionsdauer gewährleistet werden.

- 1 *MIRANDA-35 Radarsensor unter der Tragfläche des Ultraleichtflugzeugs DELPHIN montiert.*
- 2 *Ausschnitt aus dem Quicklook-Radarbild eines Messfluges mit einer reduzierten Auflösung von ca. 2,7 Metern.*
- 3 *Schematische Darstellung der verwendeten Offline-Datenverarbeitung.*

Dipl.-Ing.
 Thorsten Brehm
 Tel. +49 228 9435-354
 thorsten.brehm@
 fhr.fraunhofer.de



UNTERSUCHUNG DER AKTIVEN SCHWENK-IMPEDANZ VON KONFORMEN APERTUREN

Die Krümmung der Aperturebene einer Gruppenantenne hat einen fundamentalen Einfluss auf relevante Parameter wie das Maß der gegenseitigen Verkopplung der Strahlerelemente und somit auf die aktive Schwenkimpedanz jedes einzelnen Strahlers. Für die praktische Anwendung ist es von hohem Interesse, diese Effekte numerisch effizient vorhersagen zu können.

Verkopplung in breitbandigen Gruppenantennen

Die numerische Untersuchung der Strahlungseigenschaften elektrisch großer Gruppenantennen ist äußerst rechenintensiv. Aus Zeitgründen werden häufig idealisierte Strahler modelliert, deren elektromagnetische Eigenschaften unabhängig von ihrer Umgebung sind. Das Fernfeld von Gruppen solcher idealisierter Strahler kann vergleichsweise einfach angegeben werden. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass dieser stark vereinfachte Ansatz die Leistungsfähigkeit einer Gruppenantenne nur unzureichend genau vorhersagen kann. Reale Strahler ver koppeln signifikant u. a. durch auf der tragenden Struktur ausbreitende Wellen, durch die Freiraumabstrahlung oder durch unvollkommene Speisernetzwerke. Aufgrund dieser Störeinflüsse kommt es zu einer merklichen Abweichung zwischen dem idealen Verhalten und den Messungen. Je nach Konfiguration der Gruppe reichen diese Abweichungen von einer moderaten Degradierung der Leistungsfähigkeit bis hin zum totalen Verlust der Abstrahlungsfähigkeit bei spezifischen Schwenkwinkeln (sog. Blind Spots). Letzteres geschieht aufgrund einer signifikanten Fehlanpassung an die aktive Impedanz der Strahler.

Für zukünftige Systemen reicht es zudem voraussichtlich nicht mehr aus die Verkopplung innerhalb einer Gruppe für eine Funktion (schmalbandig) zu betrachten. Es zeichnet sich ab, dass aufgrund der steigenden Anzahl von Gruppenantennen auf Plattformen, die Verkopplung zwischen mehreren Gruppen oder aber innerhalb einer Gruppe über mehrere Modi (breitbandig) betrachtet werden muss.

Entwicklung zugeschnittener Modellierungswerkzeuge

Die Modellierung der Verkopplung der Strahler ist bei weitem der zeitaufwendigste Schritt innerhalb der numerischen Auslegung elektrisch großer Gruppenantennen. Für große ebene Strukturen mit regulär angeordneten Strahlern lässt sich, mit Ausnahme der Randelemente, die Verkopplung in guter Genauigkeit vergleichsweise schnell mittels sog. Floquet-Moden untersuchen. Die Zeitersparnis ergibt sich dabei aus der Annahme der Periodizität der Felder, wodurch lediglich eine vergleichsweise kompakte Einheitszelle statt der gesamten Struktur analysiert werden muss.

Ist eine elektrisch große Gruppenantenne hingegen gekrümmt auszulegen, beispielsweise weil diese in eine Plattform zu integrieren ist, so sind momentan keine passenden kommerziellen Modellierungswerkzeuge verfügbar. Am Fraunhofer FHR werden deshalb spezielle numerische Methoden erprobt, mit dem Ziel die Verkopplung der Strahler unter Berücksichtigung der Krümmung effizient vorhersagen zu können.



Messtechnische Untersuchungen

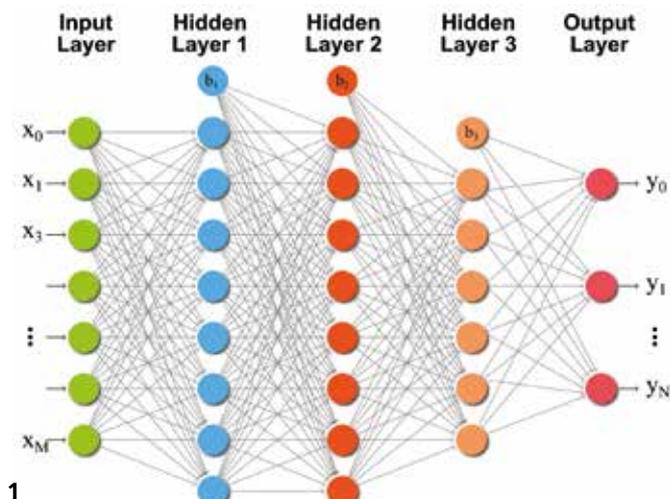
Zur Überprüfung der entwickelten Methoden wurde im Jahr 2018 ein breitbandiger Antennendemonstrator entworfen. Der Demonstrator ist modular aufgebaut und für das X-Band ausgelegt. Als Basiselemente werden einzelne lineare Strahlerzeilen verwendet, welche aus sog. »gestackten Patch-Antennen« (Abbildung 1) bestehen. Mittels »3D-gedruckter« Formteile (Abbildung 2) kann unter Laborbedingungen ein Satz Strahlerzeilen zu Aperturen mit unterschiedlicher Krümmung zusammengesetzt werden (Abbildung 3). Neben kreiszylindrischen Formen können so auch ortsabhängige Krümmungen realisiert werden. Da erwartet wird, dass die Verkopplungseffekte polarisationsabhängig auftreten, lassen sich alle Strahler in zwei zueinander orthogonalen Polarisationsmoden anregen. Um gezielt die Entstehung von Störeffekten wie Blind-Spots und Grating-Lobes (signifikante Abstrahlung in ungewollte Raumwinkel) beobachten zu können, lässt sich das Strahlerraster durch gedruckte Blindmodule variieren. Erste Messungen an isolierten Strahlern zeigen eine hohe Übereinstimmung zur Simulation.

Ausblick

Die Verkopplung wird in der kommenden Zeit für typische Krümmungsprofile vermessen. Die entwickelten numerischen Methoden werden in ihrer Genauigkeit überprüft. Ist die Verkopplung quantitativ mit ausreichender Genauigkeit erfasst, können systematisch Gegenmaßnahmen zur Verkopplungsreduktion modelliert und experimentell überprüft werden. Bekannte Ansätze sind beispielsweise in das Speisernetzwerk integrierte Entkopplungsnetzwerke oder aber die Verwendung von speziell angefertigten Abdeckungen, welche im Falle von Blind Spots das reaktive Speichern der Feldenergie direkt vor der Apertur reduzieren können (sog. *Wide-Angle Impedance Matching* Strukturen, kurz WAIM). Es ist geplant, solche WAIMs am Fraunhofer FHR innerhalb des in 2019 anlaufenden EDA-Projektes METALESA II für typisch auftretende Krümmungsprofile auszulegen und anhand des bereits realisierten Demonstrators experimentell zu überprüfen.

- 1 Strahlerraster bestehend aus sieben breitbandigen Patch-Antennen (Duale Polarisation).
- 2 Additiv gefertigte Modulrahmen mit unterschiedlichen Krümmungsradien.
- 3 Fernfeldmessungen in der Antennenmesskammer (Hier: Krümmungsradius von 5 Wellenlängen).

M. Eng.
 Andrej Konforta
 Tel. +49 228 9435-79025
 andrej.konforta@
 fhr.fraunhofer.de



ROBUSTE DETEKTIONSSTRATEGIEN MIT MACHINE LEARNING UND COMPRESSIVE SENSING

Die Detektion von Zielen in Radarsignalen ist ein fundamentaler Prozess. In den Bereichen, wo riesige Datenmengen zum Trainieren der Neuronalen-Netze (NN) zur Verfügung stehen, konnte in den letzten Jahren das Machine Learning (ML) große Erfolge erzielen, z. B. bei der Muster-, Bild-, und Spracherkennung. Die Kombination von Compressive Sensing (CS) und ML kann das Problem der fehlenden Datenmengen im Radarbereich beheben und somit diese Methoden auch hier anwendbar machen.

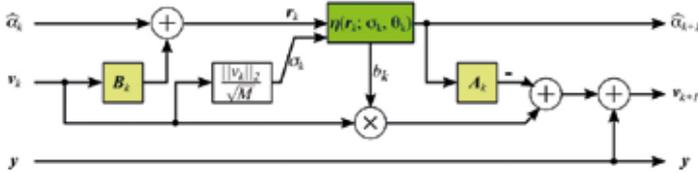
Die Hauptaufgabe von Radarsystemen besteht darin, bewegte Objekte zu detektieren und möglichst die dazugehörigen Parameter, wie beispielsweise Entfernung und Geschwindigkeit, zu bestimmen. Bedingt durch den gewählten Frequenzbereich der Systeme und ihrer aktiven Ausstrahlung von kodierten Signalen ist diese Fähigkeit unabhängig von Wettereinflüssen und Tageszeiten. Störsignale, wie beispielsweise Mehrfachreflexionen, Rauschen oder gar explizite Störversuche, erschweren die Detektion von schwachen Ziele dramatisch. Bei bewegten Objekten kommt die Schwierigkeit hinzu, dass durch nicht-lineare Bewegungen in Relation zum Radarsystem die Schätzung der Parameter sehr erschwert wird.

In den vergangenen Jahren war ein Forschungsschwerpunkt die Verbesserung der Detektionen unter Ausnutzung zusätzlicher externer Information. Diese wurde dazu verwendet die ei-

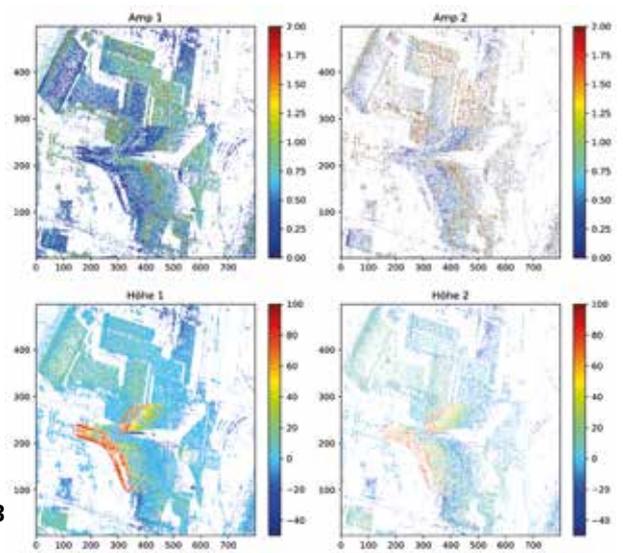
gentliche Messung mit weiterem Wissen anzureichern und so eventuell auch um nicht gemessene Information zu ergänzen, wie beispielsweise, dass sich in dem Beobachtungsraum nur einige wenige bewegte Objekte befinden. Dieses Wissen ist die Grundlage der »Sparse Signal Reconstruction« oder auch »Compressive Sensing« Theorie. Schon vor längerem hat das Fraunhofer FHR diesen Vorteil erkannt und aus diesem Grund den *International Workshop on Compressed Sensing applied to Radar, Multimodal Sensing, and Imaging (CoSeRa)* im Jahr 2012 ins Leben gerufen und ihn gleichermaßen über die folgenden Jahre intensiv begleitet. In Zusammenarbeit mit der Universität von Siegen wurde 2018 der fünfte CoSeRa Workshop durchgeführt.

Ein bekannter Nachteil der CS-Verfahren gegenüber den klassischen Verfahren, die im Gegensatz zu CS die Messdaten so filtern, dass lediglich Bewegtziele verbleiben, ist die erforderliche hohe Rechenleistung, um die Beobachtungsszene aus den Messdaten zu rekonstruieren, bevor weitere Signalprozessierungsschritte erfolgen können.

Parallel zu CS hat in den vergangenen Jahren der Forschungsbereich *Machine-/Deep-Learning (ML/DL)* zu einer Renaissance der Neuronalen-Netze geführt mit beachtlichen Erfolgen in vielen kommerziellen Anwendungen wie der automatischen Gesichtserkennung, Spracherkennung, maschinellen Übersetzung, selbstfahrenden Autos und Robotik. Wichtige Bestandteile für den Erfolg von ML/DL-Methoden sind einerseits die Verfügbarkeit von großen Datenmengen, die



2



3

für das Training und Konditionierung der komplexen Neuronalen-Netze notwendig sind, als auch die Weiterentwicklung der Rechnerleistung und die gegenwärtige Fähigkeit nicht-lineare Modelle zu erstellen und an die vorhandenen Daten anzupassen. Liegen die konditionierten Neuronalen-Netze vor, so haben die ML/DL-Verfahren das Potenzial, rechnerisch effiziente Ansätze zur Verbesserung der Zielerfassung, -verfolgung und -klassifizierung im Radar mit verbesserter Auflösung bereitzustellen.

Ein aktives Forschungsfeld in diesem Kontext ist die Integration von *Compressive Sensing* und *Machine Learning* für Radaranwendungen, um so die Vorteile aus beiden Verfahren zu kombinieren. Beispielsweise haben Iterationen vieler CS-Algorithmen zur Wiederherstellung spärlicher Signale die Struktur neuronaler Netzwerkschichten. Daher können numerisch effiziente ML-Modelle wie *Deep-Neural-Networks* verwendet werden, um die rechenintensiven Iterationen durch aus Trainingsdaten gewonnene Feedforward-Netze mit fester Tiefe zu ersetzen. Darüber hinaus ermöglicht der Lernprozess die Extraktion besserer Dictionaries/Übertragungsfunktionen für die Darstellung der Beobachtungsszene aus Trainingsdaten. CS basierte generative Modelle von Zielen und Störsignale können verwendet werden, um umfangreiche Trainingssets zu erstellen, die für die ML/DL-Algorithmen erforderlich sind. So können Lücken in den Messdaten durch Online-Vorhersagen aus einer »komprimierten« Datenbank geschlossen werden und so die Verallgemeinerung verbessern. Diese CS unterstützte Trainingsstrategie wird das Spektrum der Einsatzgebiete, bei denen ML/DL erfolgreich eingesetzt werden kann, erheblich erweitern, da im militärischen Bereich die Verfügbarkeit großer Radardatensätze nicht immer gewährleistet ist.

- 1 *Typische neuronale Netztopologie zur Detektion von Strukturen.*
- 2 *Die k-Ebene eines Vector Approximate Message Passing (VAMP) Netzwerks, die es erlaubt iterative CS-Algorithmen nachzubilden.*
- 3 *Bei interferometrischen SAR Aufnahmen von urbanen Gebieten befinden sich mehrere Punktstreuer in einer Entfernungs-Azimuth-Zelle. Mit dem kombinieren ML/CS-Verfahren können diese einzeln detektiert und dargestellt werden. Dargestellt sind hier die ersten beiden Detektionen mit ihren Amplituden und Höhen.*

Dr.-Ing.
Matthias Weiß
Tel. +49 228 9435-267
matthias.weiss@
fhr.fraunhofer.de



1

INTELLIGENTE ELEKTRONISCHE GEGENMASSNAHMEN (EloGM) GEGEN MODERNE RADAR-SYSTEME

Die Einleitung geeigneter Gegenmaßnahmen gegen feindliche Radare stellt sowohl für symmetrische als auch asymmetrische Konflikte eine große Herausforderung dar. Bei der Elektronischen Kampfführung (EloKa) hat sich das Fraunhofer FHR über Jahrzehnte eine enorme Kompetenz insbesondere bei den elektronischen Gegenmaßnahmen (EloGM) aufgebaut.

Die Erforschung und Entwicklung »unkonventioneller« Radare schreitet zunehmend voran, so dass deren Einsatz in zukünftigen Gefährdungsszenarien immer wahrscheinlicher wird. Ein »unkonventionelles« Radar besitzt spezielle technische Eigenschaften, die derzeit noch keinen weitverbreiteten Einsatz finden. Dazu gehören neben mono-, bi- und multistatischen Radaren auch passive, adaptive (aktive) und kognitive Systeme sowie Low-Power-Radare (LPR), Radare mit arbiträrer oder zufälliger Wellenform (Rauschradare) und Radar-Netzwerke.

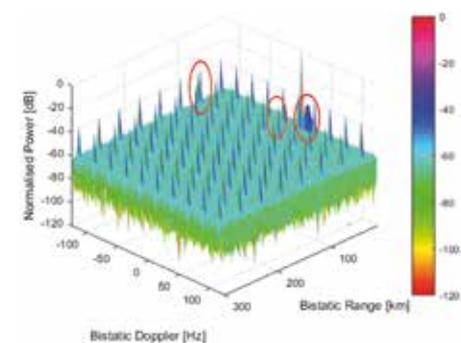
Die Wissenschaftler des Fraunhofer FHR verfügen über eine herausragende Kompetenz in der Entwicklung unkonventioneller Radare sowie entsprechender Demonstratoren für geeignete elektronische Aufklärungs- (EloUM) und Gegenmaßnahmen (EloGM). Im Sinne der Philosophie »erschaffen, um zu lernen« entwickeln sie Radare, wie z. B. Rausch-Radare, Passiv-Radare mit Fremd-Beleuchtern, statische und bewegte multistatische Radare, LPR, multifunktionale RF Systeme und Radar-Netzwerke. Zudem liegen umfassende Kenntnisse über

die Komplexität entsprechender intelligenter EloGM vor. Dabei haben die Wissenschaftler stets zukunftsrelevante Themen im Blick und pflegen eine enge Zusammenarbeit mit nationalen sowie NATO-Verbündeten, um zukünftigen komplexen Bedrohungsszenarien effizient begegnen zu können. Die nationale und internationale Relevanz der Forschungsarbeiten in den Bereichen EloGM und unkonventionelle Radare werden im Rahmen zahlreicher Forschungsaktivitäten unter Beweis gestellt. Vertreter des Fraunhofer FHR leiten gemeinsame NATO- und EU-Forschungsgruppen unter anderem zu den Themen EloGM, Passiv-Radar auf bewegten Plattformen und Synchronisation von Radar-Netzwerken.

Im Folgenden werden verschiedene Beispiele für intelligente EloGM gegen unkonventionelle Radare vorgestellt.

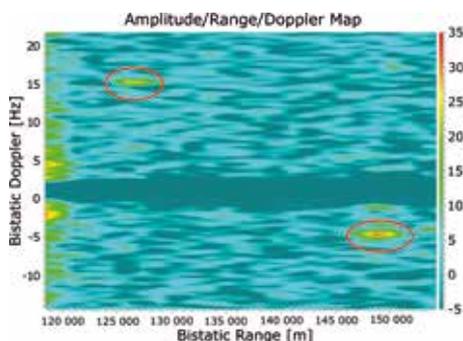
EloGM gegen passives Radar

Beim passiven Radar werden verfügbare Fremdbeleuchter wie z. B. Rundfunk oder Satelliten zur Zieldetektion genutzt, d. h. Sender und Empfänger sind räumlich getrennt. Passives Radar ist im militärischen Bereich von enormer Bedeutung und wird voraussichtlich ein zentrales Element in der Verteidigungsinfrastruktur der Zukunft sein. Daher ist die Erforschung geeigneter EloGM von essentieller Bedeutung. Dies stellt eine große Herausforderung dar, da man die Position der Empfänger i.d.R. nicht kennt und demnach das Störsignal nicht in bestimmte Richtungen aussenden kann. Forscher des Fraunhofer FHR haben in Zusammenarbeit mit Partnern Techniken entwickelt,



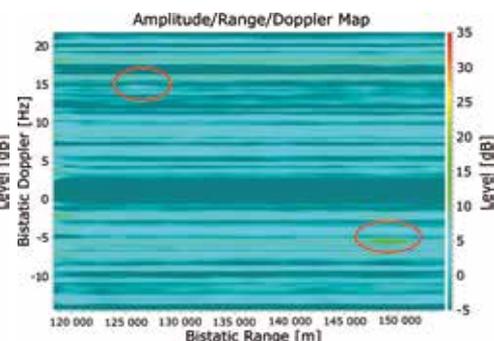
2

No Jamming



3

Tone Jamming



um intelligente Störverfahren gegen Passiv-Radare weitestgehend unabhängig von deren exakter Position einsetzen zu können. Beispielsweise ist es möglich, die Detektionsfähigkeit der Radare vollständig zu verhindern, indem das EloGM-System ein leistungsschwaches Signal aussendet (vgl. Abbildung 3). Viele Passiv-Radare nutzen zudem OFDM-basierte (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) Wellenformen. Mit einer differenzierten Manipulation der Pilot- und Trägersignale kann hier die Zieldetektion unterdrückt oder ein Täuschziel generiert werden. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für die Manipulation des OFDM-Trägersignals.

EloGM gegen aktive Radare mit hohem Zeit-Bandbreite-Produkt

Um die Erfassung eigener Plattformen durch Radare mit hohem Zeit-Bandbreite-Produkt (z. B. LPI-Radare) zu verhindern, sind Rauschstörer häufig ineffektiv. Eine Optimierung kann durch Ausnutzung des Matched-Filtergewinns erzielt werden. Hierzu erfolgt zunächst eine Parameterschätzung des Radarpulses durch geeignete EloUM-Systeme. Für die Schätzung der Signalparameter können neue Verfahren aus dem Bereich »Machine Learning« verwendet werden. Beispielsweise kann zur Bestimmung der Modulation die Zeit-Frequenz-Darstellung (z. B. Auto-Ambiguitätsfunktion) des Empfangssignals berechnet werden. Diese wird anschließend durch ein »Convolutional Neural Network« klassifiziert. Mit den daraus gewonnenen Signalparametern kann durch die Generierung zahlreicher synthetischer Falschziele das Radar gestört werden.

Am FHR wurden anspruchsvolle Breitbandempfänger entwickelt, um verschiedene Bedrohungsradare zu erfassen. Ein Hardware-Beispiel ist in Abbildung 1 dargestellt.

EloGM gegen kognitive Radare

Mit fortschreitender Digitaltechnik werden sich in Zukunft die Radarbedrohungen durch Anwendung neuer Signalformen oder Techniken immer schneller ändern. D.h. geeignete Gegenmaßnahmen müssen in vergleichbaren Zeiträumen angepasst werden, um effektiv einsetzbar zu sein. Zukünftige Systeme zur elektronischen Kampfführung werden auf rekonfigurierbarer Hardware und Software beruhen, so dass neue Radarbedrohungen während des Einsatzes entdeckt und charakterisiert werden können. Anschließend werden mit möglichst minimaler Reaktionszeit entsprechende effektive Gegenmaßnahmen abgeleitet. Der Lern- und Anpassungsprozess der nun flexiblen Bedrohungsbibliothek erhält hierfür eine Rückkopplung zur Überprüfung der Effektivität der Maßnahme und zur unmittelbaren Anpassung und Optimierung der anzuwendenden Störtechnik.

- 1 Ein breitbandiger »Electronic Support Measure« Empfänger.
- 2 Unterdrückung von Zieldetektionen und Generierung von Täuschzielen bei Passiv-Radaren durch Manipulation des OFDM-Trägersignals.
- 3 Erschwerung der Zieldetektion mit Passiv-Radaren durch leistungsschwache Störsignale.



Prof. Dr.-Ing.
Daniel O'Hagan
Tel. +49 228 9435-389
daniel.ohagan@
fhr.fraunhofer.de



WELTRAUMÜBERWACHUNG MIT GESTRA

Die Integrationsarbeiten und die Prüfung der einzelnen Subsysteme sind im vollen Gange. Im Jahr 2019 wird GESTRA (German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar) an den finalen Aufstellungsort in Koblenz transportiert, um dort als Gesamtsystem getestet und kalibriert zu werden. 2020 soll das System zum operativen Betrieb an das Weltraumlagezentrum (WRLageZ) in Uedem übergeben werden. Einerseits wird damit das WRLageZ über einen leistungsstarken Radarsensor zur Weltraumüberwachung verfügen, andererseits verspricht GESTRA auch anderen Forschungseinrichtungen in Deutschland wertvolle Daten zur wissenschaftlichen Nutzung.

Integration und Monitoring der Radarinfrastruktur

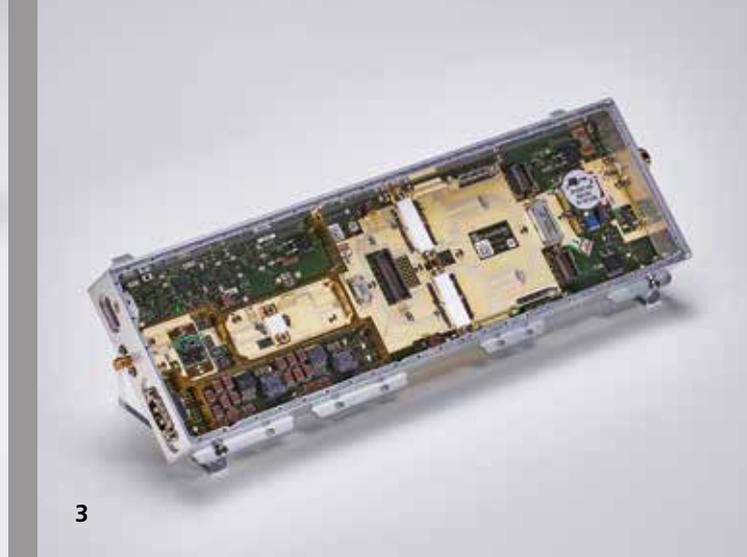
Aufgrund der hohen Sendeleistung wird das teilmobile System quasi-monostatisch ausgelegt, d. h. das Sendesystem und das Empfangssystem werden jeweils in einen eigenen Container mit 18 x 4 x 4 m³ Größe integriert. Der Einbau der Subsysteme in die Container erfolgte in einer Reihenfolge entsprechend den räumlichen Randbedingungen. Angefangen vom Einbau des Energieverteilschranks mit all seinen Sicherheitsrelais' und Hochstromschaltern folgte die Integration des Schwerlast-Scherenhubtisches, des ölfreien Kompressors und der Klimaanlage einschließlich ihrer Belüftungs- und Absaugverrohrung in beide Container. Anschließend wurden die Energieversorgungseinheiten für die Sende- und Empfangsantenne installiert und in das Steuerungssystem integriert. Einen sehr komplexen Integrationsprozess bildete der Einbau des Kühlsystems in beide Container. Die Flüssigkeitskühlsysteme

der Sende- und Empfangseinheit bestehen aus einem Primärkühlkreislauf mit komplexer Kaltwasseraufbereitung und Lufrückkühlung sowie einem Sekundärkühlkreislauf mit abgestimmtem Pumpensystem zur Kühlung der Antenne, des Sendetransformators, des Radarprozessors und der Klimaanlage. Nach Integration aller zugehörigen Kühl- und Entfeuchtungsaggregate erfolgte die Verrohrung dieser Teilsysteme. Nur durch eine detaillierte 3D-Systemmodellierung aller Geräte und Verrohrungen war es möglich, für die anschließende Integration der Kabeltrassen an den Containerdecken zur elektrischen Speisung der Teilsysteme das passende Raumvolumen zu garantieren. Dieser mehrstöckige Trassenaufbau ermöglicht ebenfalls die transportgerechte Raumführung der Wasser- und Pressluftschläuche zu den Geräten.

Die Integration des Radarprozessors im 3-Rack-Format mit 45 kW Verlustleistung und integrierter Feuerlöschmöglichkeit ermöglichte die frühzeitige Analyse der Rechenkapazität zum Test der Signalverarbeitungsalgorithmen. Nachdem alle erwähnten Subsysteme elektrisch angeschlossen wurden, erfolgten die Implementierung und der Test aller Überwachungs- und Sensorsysteme in diesen Geräten. Dabei sind nachdrücklich die zuverlässige Klimatisierung und Entfeuchtung der Betriebsräume zu nennen, damit bei niedrigen Temperaturen keine Kondenswassereffekte auftreten. Das derzeitige ständige Monitoring aller Betriebszustände und Umweltparameter aller eingebauten Geräte mit Hilfe eines optimierten Überwachungsprogramms gibt einen Einblick in die realisierte Produktsicherheit der Radarinfrastruktur. Der Einbau des Antennenfrontends mit Positionierer in beide Container erfolgt im März 2019.



2



3

Derzeit finden die Integrationsarbeiten zum Aufbau der Empfangsmodule und anschließend der Empfangsplanks statt. Es folgen die Sendep plankbestückungen und die fortlaufenden Antennenintegrationen mit sämtlichen Versorgungseinheiten. Dabei ist hervorzuheben, dass die sehr komplexen, 130 cm langen Backplane-Platinen, welche zur Speisung der Planks mit hohem Herstellungsrisiko entwickelt wurden, vollständig geliefert und getestet für den Einbau zur Verfügung stehen.

Signalverarbeitung

Über die Optimierung der physikalischen Eigenschaften des Radars hinaus soll die Detektionsfähigkeit von GESTRA vor allem durch die Signalintegration über möglichst viele Pulse verbessert werden. Hierzu wird ein Modell des Zielsignals für alle relevanten Charakterisierungsgrößen parametrisiert und in den zu erwartenden Wertebereichen üblicher Zielobjekte im *Low Earth Orbit* einer angepassten Signalverarbeitung unterzogen. Durch die anschließende Schwellwertentscheidung und Initiierung einer Bahnverfolgung des Objektes werden die Trackletinformationen abgeleitet, welche im Weltraumlagezentrum zu einer vollständigen Spur synthetisiert werden.

Fernkontrolle von GESTRA

Im Regelfall soll GESTRA ohne Vorort-Personal aus der Ferne vom nationalen WRLageZ aus betrieben werden. Dementsprechend sind alle Komponenten konsequent auf Fernwartbarkeit ausgelegt worden, bis hin zur Möglichkeit eines kompletten Neustarts aus dem energielosen Zustand heraus. Für die Sicherheit ist dabei gesorgt: eine BSI-zertifizierte verschlüsselte End-zu-End-Kommunikation sorgt für abhörsichere Verbindungen, eine Drei-Netze-Topologie sowie eine *State-Of-The-Art Firewall* runden das Gesamtkonzept ab.

Zum Kennenlernen der späteren Betriebsabläufe wurde 2018 ein auf den endgültigen Netzwerkprotokollen beruhender Simulator der GESTRA-Kommando- und Datenschnittstellen an die zukünftigen Nutzer geliefert, so dass ihre Missionsplanungs- und Auswertesoftware parallel zur Fertigstellung der Anlagenhardware für den operationellen Betrieb vorbereitet werden kann.

1 Visualisierung des Track-While-Scan-Mode.

2 GESTRA Sendep plank bestückt mit drei Hochleistungs-Sendemodulen.

3 Blick auf das GESTRA Hochleistungs-Sendemodul mit Pulsleistung >1000 W.



Dipl.-Ing.

Helmut Wilden

Tel. +49 228 9435-316

helmut.wilden@

fhr.fraunhofer.de

Dr. rer. nat.

Nadya Ben Bekhti

Tel. +49 228 9435-768

nadya.ben.bekhti@

fhr.fraunhofer.de



JEDES DB ZÄHLT – BESSERE DETEKTIONS-EMPFINDLICHKEIT VON PHASED-ARRAY-RADAREN DURCH KRYOTECHNOLOGIE

Mit dem neuen, spannenden Forschungsthema »Kryogene Empfänger kühlung für Phased-Array-Antennen« geht das Fraunhofer FHR voran, um die Empfindlichkeit und damit die Fähigkeiten der Radare weiter zu steigern. Die technische Realisierung zur Senkung der Systemrauschktemperatur birgt ein hohes Potential für die Entwicklung zukunftsweisender Radare zur Weltraumüberwachung.

Nach erfolgreichem Abschluss eines ersten Forschungsprojektes im Auftrag des DLR-Raumfahrtmanagements wurden die Arbeiten auf dem Gebiet der Kryotechnologie im Jahr 2018 weiter vertieft. Dabei sind Technologien entwickelt worden, die die Rauschktemperatur von Radarempfängern senken sollen. Eine Optimierung des Signal-zu-Rauschverhältnisses (SNR) ist essentiell für die Detektion und Katalogisierung kleinster Objekte im *Low Earth Orbit* (LEO) und trägt damit zu einer Verbesserung der aktuellen Erfassung der Weltraumlage bei.

Entwicklung einer geeigneten Messumgebung

Um die Empfindlichkeit signifikant zu erhöhen, muss der Empfänger auf Temperaturen bis zu -270°C ($\sim 4^{\circ}\text{K}$) gekühlt werden. Zur Bestimmung der Verbesserung muss die Rauschktemperatur in einem Empfangssystem gemessen werden, was besondere Anforderungen an die Messumgebung stellt. So wurden evakuierte Edelstahlgefäße (Dewar) entwickelt, die durch das Vakuum und die thermische Abschirmung der Ex-

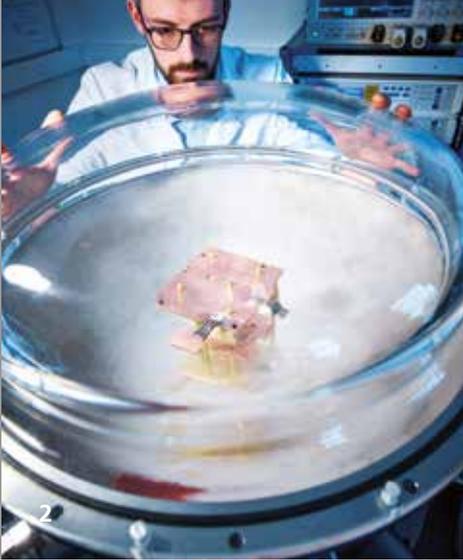
perimentierplattform gegenüber der Umgebung eine Kühlung auf Tiefsttemperaturen ermöglichen.

Aktuell wird ein großer Mess-Dewar (Höhe 840 mm, Durchmesser 620 mm) für verschiedenste Untersuchungen eingesetzt. Die Leistungscharakteristik des eingesetzten Kryokühlers inklusive aller Anbaukomponenten wurde vermessen und ein detailliertes Wärmelastdiagramm erstellt. Dieses dient der Ermittlung der notwendigen Anzahl von Kryokühlern für ein zukünftiges skalierbares Phased-Array System.

Zurzeit wird zusätzlich ein kleineres Vakuumgefäß ($25 \times 25 \times 10 \text{ cm}^3$) aufgebaut und optimiert. Dieser Dewar kann, aufgrund der geringeren Masse und der kleineren Messkammer, flexibler eingesetzt werden und bietet daher eine Plattform für kleine und schnelle Tieftemperaturexperimente. Um auf der Experimentalplattform eine Temperatur von $< 20 \text{ K}$ zu erreichen, wird ein zweistufiger Kryokühler verwendet. Auf der ersten Stufe (77 K) wird die von außen einstrahlende Wärmelast abgeführt. Auf der zweiten Stufe befindet sich die Experimentalplattform auf $< 20 \text{ K}$. Durch die Vergoldung der Strahlungsschilder auf der ersten Stufe wird eine weitere Reduktion der Wärmelast durch die Reflexion der Wärmestrahlung erreicht.

Messtechnik zur Bestimmung der Rauschktemperatur – Heated Load

Die korrekte Bestimmung der Rauschktemperatur bei $< 20 \text{ K}$ erfordert ausgereifte Hochfrequenzmesstechnik, da



die Material- und HF-Eigenschaften sich bei Tieftemperaturen stark verändern. Weiterhin muss der Wärmeeintrag von der 290 K-Raumtemperaturumgebung (z. B. durch HF-Kabel) auf die < 20 K-Experimentalplattform so gering wie möglich gehalten werden. Um dies zu realisieren, wird die notwendige Rauschquelle direkt in die Umgebung mit $T < 20$ K gebracht. Für eine optimierte Messung der Rauschtemperatur wird eine sogenannte »Heated-Load« entwickelt. Diese besteht aus einem 50 Ohm HF-Abschlusswiderstand, der mittels eines Heizwiderstands auf verschiedene definierte Temperaturen eingestellt werden kann. Diese Methode erlaubt eine sehr genaue Bestimmung der Rauschtemperatur. Die Herausforderung hierbei liegt darin, dass der Abschlusswiderstand einerseits thermisch vom System entkoppelt sein muss, damit das Bauteil nicht mit aufgeheizt wird, sondern thermisch stabil auf einer Temperatur gehalten werden kann. Andererseits muss der Widerstand thermisch ausreichend gut angebunden sein, um die gewünschten niedrigen Temperaturen schnell zu erreichen.

Der erste Prototyp eines skalierbaren Einzelempfangskanals

Um ein flexibles kryogenes Phased-Array Radar zu realisieren, sind die kryogekühlten Empfangskanäle skalierbar aufgebaut. Zunächst ist eine mechanische Stützstruktur für die ersten Verstärker notwendig, die zugleich als Strahlungsschild für die erste und zweite Stufe fungieren. Dabei muss zum einen die Struktur dem mechanischen Stress durch das Kühlen standhalten und zum anderen die unterschiedlichen Temperaturniveaus thermisch voneinander entkoppelt gehalten werden. Ein erster erfolgreicher Prototyp wurde bereits entwickelt und verschiedentlich getestet.

Kryotaugliche HF-Fenster

Um ein zukünftiges kryotaugliches Phased-Array-System für elektromagnetische Strahlung durchlässig und vakuumdicht zu gestalten, muss ein geeignetes Radommaterial gefunden werden. Zur ersten Untersuchung dieser »HF-Fenster« wurde ein Spezialkunststoffdeckel in Form eines Klöpperbodens für den großen Dewar konstruiert. Mit diesem HF-Fenster ist es möglich, einen kryogekühlten Empfänger aufzubauen, bei dem auch die Antenne gekühlt wird. Erste Vakuum- und Stresstests zeigen, dass der Boden die notwendige Stabilität aufweist. Die Analyse alternativer Materialien und Radomformen sowie HF-Untersuchungen wird noch durchgeführt.

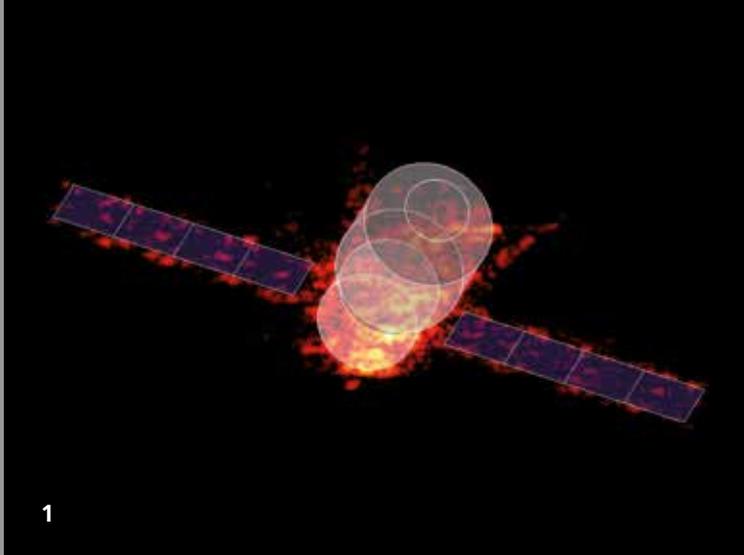
Die hier gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Entwicklung eines leistungsgesteigerten kryogenen Phased-Array-Radar Systems und haben das Potential, auch andere Forschungsfelder entscheidend voran zu bringen.

- 1 Experimente mit flüssigem Stickstoff.
- 2 Blick auf einen Einzelempfangskanal eingebaut in den großen Mess-Dewar.
- 3 Einzelempfangskanal mit aufgesetzter Cavity-Backed-Stacked-Patch Antenne.
- 4 Die Heated-Load auf der 20 K-Experimentalfläche umgeben vom 77 K-Strahlungsschild.



Dr. rer. nat.
Nadya Ben Bekhti
Tel. +49 228 9435-768
nadya.ben.bekhti@
fhr.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. (FH)
Andreas Fröhlich
Tel. +49 228 9435-769
andreas.froehlich@
fhr.fraunhofer.de



BEGLEITUNG DES WIEDEREINTRITTS DER CHINESISCHEN RAUMSTATION TIANGONG-1 MIT TIRA

Unter großer medialer Beachtung ist Ostern 2018 die chinesische Raumstation Tiangong-1 in die Erdatmosphäre eingetreten und abgestürzt. Das Fraunhofer FHR hat dabei das nationale Weltraumlagezentrum und die ESA mit aktuellen, hochgenauen Bahnparametern und Daten zum Rotationsverhalten unterstützt.

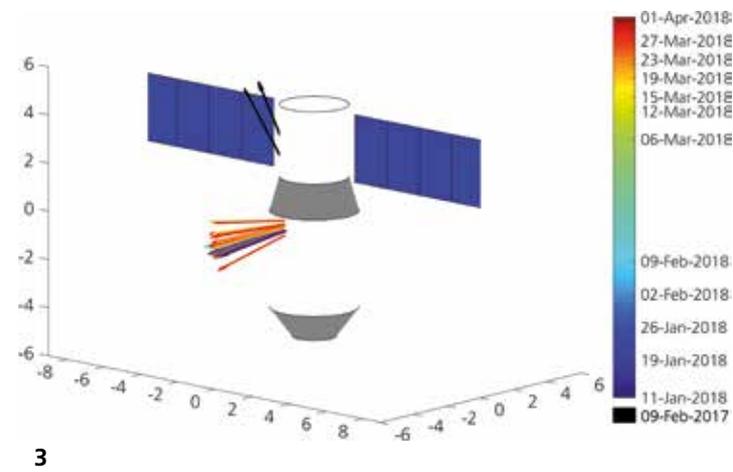
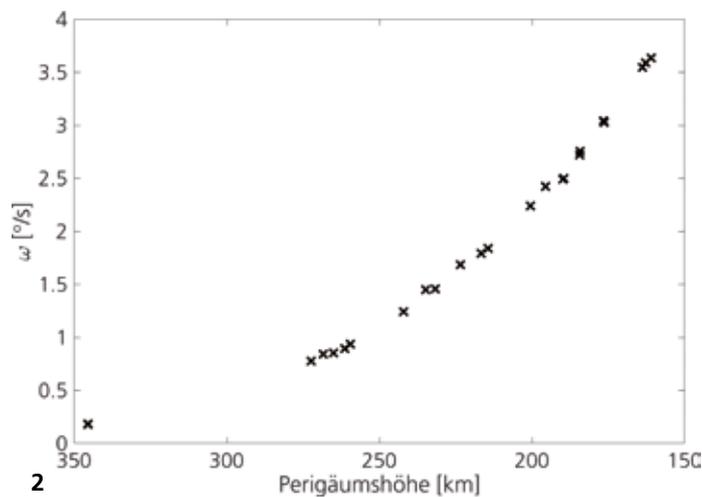
Die ehemals bemannte chinesische Raumstation Tiangong-1 wurde 2011 in eine Umlaufbahn von ca. 360 km Höhe gebracht. Seit Frühjahr 2016 galt sie als unkontrolliert und es wurden seither auch keine Bahnkorrekturen mehr vorgenommen. Schließlich, am 1. April 2018, ist Tiangong-1 zu einem großen Teil in der Erdatmosphäre verglüht und möglicherweise sind einzelne verbliebende Fragmente in den Pazifischen Ozean gestürzt. Wo ein Weltraumobjekt auf die Erde abstürzen wird, lässt sich nach heutigem Stand der Forschung nur mit großer Unsicherheit vorhersagen. Niedrige Umlaufbahnen von Satelliten unterliegen stark wechselnden äußeren Einflüssen. Die Erdatmosphäre, die auch in diesen Höhen noch vorhanden ist, wenn auch sehr viel geringer als in Bodennähe, bremst das Objekt langsam ab. Das Abbremsen verursacht eine Absenkung der Umlaufbahn. Wegen der dichteren Atmosphäre in niedrigeren Höhen nimmt die abbremsende Kraft immer mehr zu, so dass sich das Absinken mit abnehmender Höhe beschleunigt.

Das Fraunhofer FHR unterstützt regelmäßig Behörden und internationale Organisationen im Vorfeld und schließlich bis zum

Wiedereintritt mit aktuellen Daten. Mit dem Hochleistungsradar TIRA werden die Bahndaten hochpräzise erfasst und die Objekte zusätzlich mittels ISAR Verfahren abgebildet. Im Fall von Tiangong-1 arbeitete das Fraunhofer FHR mit dem Weltraumlagezentrum der Bundeswehr und der ESA zusammen. Zusätzlich führte das Fraunhofer FHR zu Forschungszwecken eigene Beobachtungen durch.

Zu Beginn der Wiedereintrittsphase sind die Störeinflüsse, wie die der Erdatmosphäre, verhältnismäßig gering. Durch das Eindringen in dichtere Atmosphärenschichten nehmen sie erheblich zu und die Beobachtungsabstände müssen für eine gute Prognose des Wiedereintrittszeitpunkts entsprechend verkürzt werden. Kurz vor dem Wiedereintritt wird dann jeder Überflug verfolgt. So auch im Fall Tiangong-1 als Ostersonntag um 9:49 Uhr Lokalzeit die letzte sichtbare Passage von TIRA erfasst werden konnte.

Die errechneten Bahnparameter und aktuellen Prognosen wurden zeitnah dem Weltraumlagezentrum übermittelt, welches die Daten in eigene Wiedereintrittsvorhersagen einfließen lassen konnte. Das Fraunhofer FHR bestimmte im Rahmen der Kampagne hierfür Bahndatensätze und überprüfte außerdem mithilfe von Radarbildern regelmäßig den Zustand von Tiangong-1. Solche Radarbilder von Weltraumobjekten finden derzeit einzig durch das Fraunhofer FHR Eingang in die Öffentlichkeit; so haben die veröffentlichten Radarbilder von Tiangong-1 weltweit Beachtung gefunden.



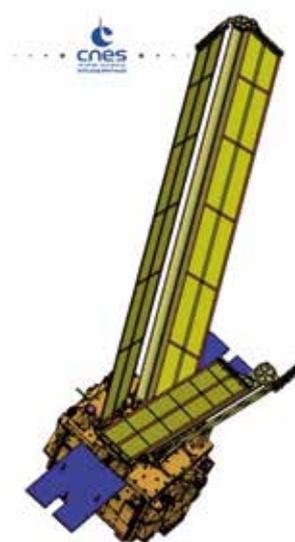
Zusätzlich wurde mit TIRA das erste Mal systematisch das Rotationsverhalten eines Weltraumobjekts während des Wiedereintritts untersucht. Durch eine mögliche Rotation kann sich die angeströmte Querschnittsfläche mit der Zeit ändern, was Auswirkungen auf den Wiedereintrittszeitpunkt haben kann. Nur mittels bildgebenden Radarverfahren ist die Erfassung des vollständigen Rotationsvektors, d. h. der Rotationsachse sowie der Rotationsgeschwindigkeit, und seiner Lage im Raum möglich. In einem iterativen Prozess wird der Rotationsvektor mittels der Bildserie, die während einer Passage erstellt wird, berechnet. Durch Anpassung eines 3D-Modells des Objekts an eine solche Bildserie lässt sich anschließend der Rotationsvektor für jede Beobachtung bestimmen. Abbildung 1 zeigt ein Radarbild mit transparent überlagertem 3D-Modell. So können zum einen die Radarbilder korrekt skaliert werden und zum anderen der ermittelte Rotationsvektor genutzt werden, um das Eigendrehverhalten von Wiedereintrittsobjekten zu untersuchen. Im Fall von Tiangong-1, der über ein Jahr lang vom Fraunhofer FHR beobachtet wurde, konnten für 24 Beobachtungen die entsprechenden Rotationsvektoren berechnet werden. In Abb. 2 ist die Rotationsgeschwindigkeit abhängig von der Höhe der Umlaufbahn dargestellt. Mit abnehmender Bahnhöhe zeigt sich eine deutliche Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit, insbesondere gegen Ende der Wiedereintrittsphase. Abb. 3 zeigt die jeweilige Lage der Rotationsachsen bezogen auf das Objektkoordinatensystem. Die Rotationsachsen stehen während eines Großteils der Wiedereintrittsphase senkrecht auf der Solarpanelebene.

Im nächsten Schritt soll untersucht werden, in wieweit durch Einbeziehung dieser Informationen über die Ausrichtung und das Eigenrotationsverhalten von wiedereintretenden Objekten die Wiedereintrittsprognose künftig verbessert werden könnte.

- 1 ISAR Bild mit überlagertem 3D Modell.
- 2 Rotationsgeschwindigkeit.
- 3 3D Modell mit Rotationsachsen im Objektkoordinatensystem.

Dr. rer. nat.
 Svenja Sommer
 Tel. +49 228 9435-222
 svenja.sommer@
 fhr.fraunhofer.de

Dr. rer. nat.
 Vassilis Karamanavis
 Tel. +49 228 9435-79027
 vasileios.karamanavis@
 fhr.fraunhofer.de



1

UNTERSTÜTZUNG VON SATELLITEN DE-ORBITING-MISSIONEN MIT TIRA

Satelliten werden nach Missionsende zu Weltraumschrott und damit zu einer Gefahr für aktive Satelliten. Mittels neuartiger De-Orbiting-Systeme soll die Verweildauer im Orbit drastisch verkürzt werden. TIRA kann hierfür die Funktionsfähigkeit der De-Orbiting-Systeme sicher verifizieren.

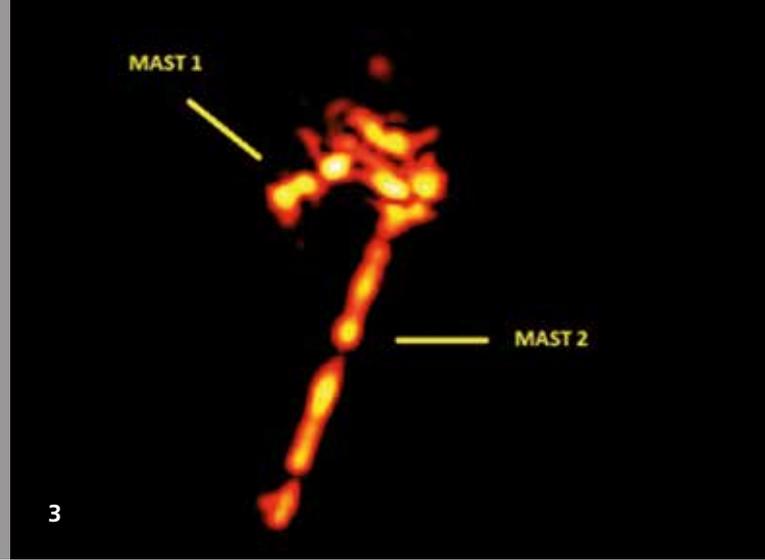
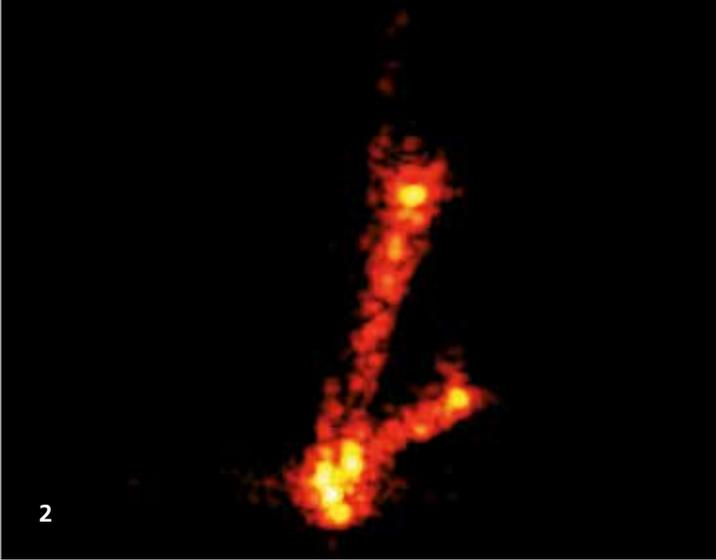
Am Ende von Satellitenmissionen bleibt nur noch Weltraumschrott übrig, der seine Bahnen um die Erde zieht. Mit der dramatisch steigenden Anzahl an Satelliten erhöht sich somit auch der Weltraumschrott kontinuierlich und die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen im erdnahen Weltraum nimmt stetig zu. Jede Kollision von Weltraumschrott erzeugt wiederum ein Vielfaches an Weltraumschrott, so dass die Gefahr für die sich im Einsatz befindlichen Satelliten permanent steigt.

Je nach Orbithöhe können ausgediente Satelliten viele Jahrzehnte, Jahrhunderte oder sogar für immer als Weltraumschrott im Weltraum verbleiben, wenn man nicht mittels geeigneter Maßnahmen ein Absinken der Satelliten und dadurch ein Verglühen in der Erdatmosphäre einleitet oder aber andere Maßnahmen gegen den Weltraumschrott ergreift. Damit der erdnahe Weltraum auch in Zukunft noch durch Satelliten genutzt werden kann, fordert ein 2004 verabschiedeter internationaler Verhaltenskodex zum Thema Weltraumschrott, eine Satellitenverweilzeit von weniger als 25 Jahren nach Missionsende für den LEO (*Low Earth Orbit*). Bei niedrigen Umlaufbahnen unter 600 km kann durchaus die Reibung des Satelliten in der Atmosphäre ausreichen, damit dieser in weniger als 25 Jahren verglüht. Bei höheren

Umlaufbahnen kann jedoch dieses Ziel nicht ohne zusätzliche Maßnahmen erreicht werden.

Mit Hilfe aktiver De-Orbiting-Systeme kann durch kontrollierten Gasaustritt aus Steuerdüsen die Umlaufbahn eines Satelliten soweit abgesenkt werden, dass er in der Erdatmosphäre verglüht. Aktive Systeme sind jedoch teuer und schwer und erhöhen durch ihr zusätzliches Gewicht die Launch-Kosten. Deshalb sind aktive Systeme, besonders für kleinere Satelliten, oftmals wirtschaftlich uninteressant. Ein Hauptaugenmerk wird deshalb derzeit auf die Entwicklung passiver De-Orbiting-Systeme gelegt, die kostengünstig und relativ leicht sind und das Fläche-zu-Gewichts-Verhältnis von Satelliten soweit erhöhen, dass sie wie Bremssegel in der sehr dünnen Erdatmosphäre wirken. Diese Bremssegel können beispielsweise aus einer nur wenige zehn Mikrometer dicken Folie bestehen, die nach Missionsende ballonartig aufgeblasen wird. Solche Systeme sind somit leicht, können auf kleinstem Raum verstaut werden und sind gegenüber aktiven Systemen äußerst preisgünstig.

Die französische Weltraumorganisation CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) hat für ihren Satelliten MicroSCOPE (*Micro-Satellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Equivalence*) das passive De-Orbiting-System IDEAS (*Innovative DEorbiting Aerobrake System*) entwickelt. Am Ende der Satellitenmission wurden dazu zwei entfaltbare Arme, bestehend aus einer dünnen Aluminiumfolie, mit Stickstoff gefüllt. An diesen Armen befinden sich zusätzlich je zwei Segel, um die Oberfläche zu vergrößern. So ergibt sich insgesamt eine Oberfläche von 6.3m² bei einem Gesamtgewicht des



De-Orbiting-Systems von 12kg. Dabei sind die beiden Flügel in einem bestimmten Winkel zueinander angeordnet, so dass ein möglichst hoher Luftwiderstand erzeugt wird. Zur Überprüfung des entfaltetes De-Orbiting-Systems wurden Drucksensoren eingebaut, die allerdings nur einen indirekten Hinweis darauf liefern, ob die Entfaltung der Flügel richtig funktioniert hat.

Um die korrekte Entfaltung der Flügel zu überprüfen, wurde deshalb das Fraunhofer FHR beauftragt, mit Hilfe des Weltraumradars TIRA Radarbilder des Satelliten anzufertigen. In zwei Überflugpassagen, unmittelbar nach Entfaltung der Arme, wurde MicroSCOPE mit dem Ku-Band Radar von TIRA abgebildet. Die so erhaltenen 2D-Radarbilder wurden anschließend mit einem 3D-Satellitenmodell im Detail verglichen und analysiert. So konnten nicht nur die zwei entfaltetes Arme zweifelsfrei im Radarbild identifiziert werden, sondern darüber hinaus war es möglich deren Längen zu vermessen und den Öffnungswinkel zwischen beiden Armen zu schätzen. So konnte in einer abschließenden Analyse, gemeinsam mit CNES, aus den TIRA-Daten die korrekte Entfaltung des De-Orbiting-Systems IDEAS bestätigt werden.

IDEAS ist nicht das einzige De-Orbiting-System seiner Art. Andere Systeme mit unterschiedlichen Segelgeometrien und -größen sind in der Entwicklung oder befinden sich bereits auf aktiven Satelliten. Weitere Anfragen zur Verifikation von De-Orbiting-Systemen hat das Fraunhofer FHR bereits erhalten und es ist abzusehen, dass viele folgen werden. TIRA ist bereit, zukünftige De-Orbiting-Missionen erfolgreich zu unterstützen.

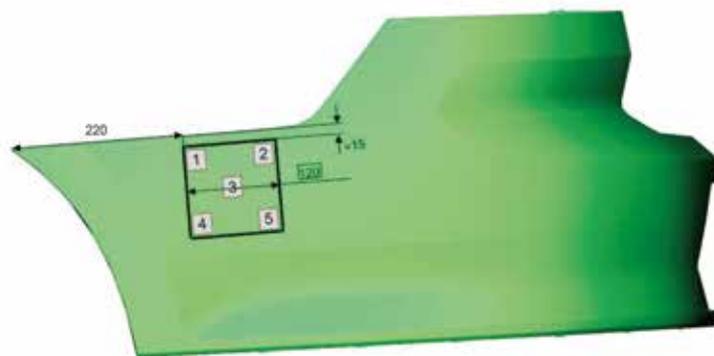
1 *Model des MicroSCOPE Satelliten mit entfaltetem De-Orbiting-System und Orientierung wie im Radarbild (Bild 2).*

2 *Äquivalentes Radarbild zum MicroSCOPE Model in Bild 1.*

3 *Radarbild von MicroSCOPE mit entfaltetem De-Orbiting-System aus einem weiteren Überflug.*



*Dr. rer. nat.
Jens Klare
Tel. +49 228 9435-311
jens.klare@
fhr.fraunhofer.de*



1

MATERIALCHARAKTERISIERUNG FÜR AUTOMOTIVE RADAR

Moderne Fahrerassistenzsysteme bedürfen einer Vielzahl an Sensoren, um zum einen die Sicherheit zu erhöhen und zum anderen den Komfort zu steigern. Besonders das automatisierte Fahren greift zur Umfelderkennung auf optischen Systeme, Lidarsensorik, Infrarot und last not least die Radarsensorik zurück.

Radar als wesentliche Sensorkomponente

Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften hinsichtlich der Robustheit gegenüber Witterungseinflüssen und seiner tageszeitlichen Unabhängigkeit sowie der zuverlässigen Charakterisierung der Ziele bleibt Radar eine unverzichtbare Konstante im Sensorverbund. Insbesondere im Vergleich zum optischen und Infrarot-Spektrum zeigen Millimeterwellen eine gute Durchdringung bei Regen, Schneefall, Nebel oder Rauch. Meist erfolgt die Integration des Radars am Fahrzeug im Stoßfänger. Damit kommt dem Verständnis der Transmissions- und Absorptionseigenschaften der verwendeten Materialien eine wesentliche Bedeutung zu, um die Leistungsfähigkeit des Radarsensors auch am Einbauort zu gewährleisten.

Das Fraunhofer FHR hat sich in der jüngsten Vergangenheit in mehreren Projekten intensiv mit dieser Thematik auseinandergesetzt und gemeinsam mit Zulieferfirmen, OEMs und Messgeräteherstellern Methoden zur geeigneten Materialcharakterisierung entwickelt. Dabei wurden unter anderem verschiedene planare ein- und mehrschichtige Kunststoffproben von Stoßfängern im Bereich 75-85 GHz hinsichtlich ihrer komplexen Dielektrizitätszahl (Permittivität)

vermessen. Aber nicht nur das Kunststoffmaterial an sich sondern auch deren geometrische Eigenschaften wie zum Beispiel die Krümmungsradien beeinflussen die Radarsignale. Dazu wurden gezielt planare Proben mit Proben unterschiedlicher Krümmungsradien verglichen und untersucht. Bei der Untersuchung des Einflusses einer Lackierung oder Primer Schicht auf die Transmissions- und Reflexionseigenschaften der Proben zeigte sich, dass sich beide Größen durch Zugabe einer Deckschicht signifikant verschlechtern können. Des Weiteren wurden mit einer Chromfolie beschichtete Kunststoffproben (einseitige und beidseitige Beschichtung) untersucht. Dazu wurden Messungen mit und ohne Folie durchgeführt, um quantitative Aussagen zu treffen. Die Messergebnisse haben gezeigt, dass die Chromfolie einen sehr starken Einfluss auf die Transmissionsverluste haben kann.

Charakterisierung von Fahrzeug-Emblemen

Embleme fungieren als wesentliches Identifikationsmerkmal und stellen eine unverzichtbare Komponente des Automobilherstellers dar. Da sich der Einbauort von Fernbereichsradaren (*Long range Radaren (LLR)*) meist zentral im Kühlergrill hinter dem Einbauort des Emblems befindet, besteht besonderes Interesse an den hochfrequenztechnischen Charakteristika des Emblems, welche das Radar als eine Art zweites Radom schützt, aber die transmittierten Radarsignale auch negativ beeinflussen kann.

In einem gemeinsamen Projekt mit der Firma Hyundai Mobis wurde die Charakterisierung verschiedenster Embleme durchgeführt. Diese geschah einerseits messtechnisch und



andererseits durch geeignete Berechnungsmethoden und die Entwicklung softwaregestützter elektromagnetischer Simulationstools. Diese erlauben es in Abhängigkeit der geometrischen Gegebenheiten und unter Kenntnis der elektromagnetischen Eigenschaften der Materialien ein optimiertes Design durchzuführen, um letzten Endes eine für das Radar bestmögliche Performance zu erzielen.

Fazit

Der vermehrte Einsatz von Radaren im Fahrzeug und deren Integration am Einbauort stellt viele Material- und Automobilhersteller vor die Herausforderung Materialien hinsichtlich ihrer elektromagnetischen Eigenschaften zu charakterisieren.

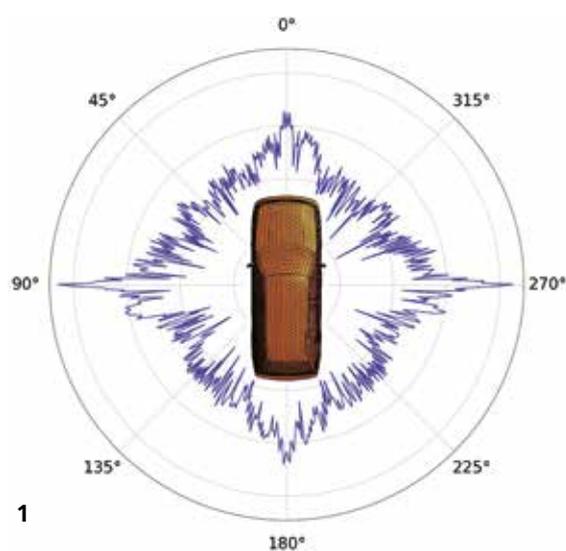
Dank des umfangreichen Know-hows in puncto der experimentell-messtechnischen Materialcharakterisierung zusammen mit dem elektromagnetisch-physikalischen Verständnis des Ausbreitungsverhaltens in inhomogenen Kunststoffmaterialien und durch Lackschichten konnte das Fraunhofer FHR wesentlich zum Verständnis, zur quantitativen Erfassung des Absorptions- und Transmissionsverhaltens verschiedenster Materialien sowie zum optimierten Design von Emblemen beitragen.

1 Ein Stoßfängerteil aus Kunststoff und der quadratische Ausschnitt, der zur messtechnischen Charakterisierung seiner Eigenschaften verwendet wurde (alle Bemaßungsangaben in mm).

2 Messtechnischer Aufbau zur Vermessung und Charakterisierung von Kunststoffteilen.



Dr.-Ing.
 Andreas Danklmayer
 Tel. +49 228 9435-350
 andreas.danklmayer@
 fhr.fraunhofer.de



EM-SIMULATION DYNAMISCHER VERKEHRSSZENARIEN

Mit dem Simulationstool GOPOSim wird am Fraunhofer FHR eine Softwarelösung zur schnellen elektromagnetischen Simulation von zeitdynamischen Prozessen entwickelt. So kann beispielsweise die Funktion eines Automobil-Radarsensors außerhalb von zeitaufwendigen Testfahrten mit synthetisierten Radardaten getestet werden.

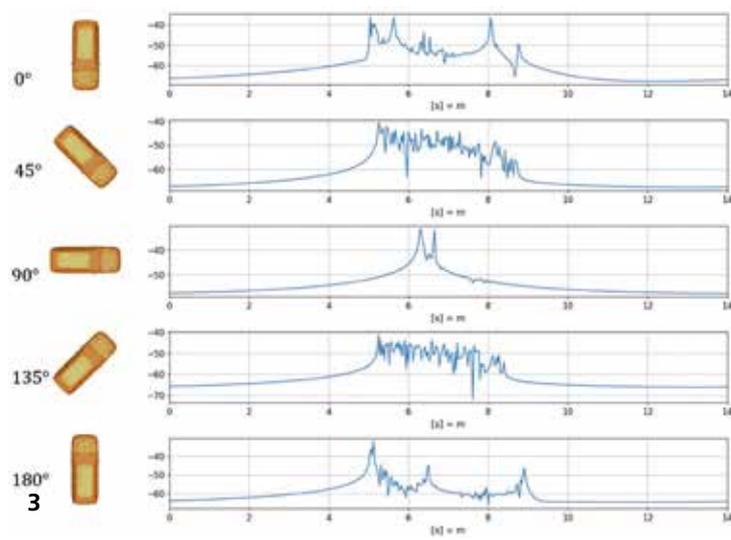
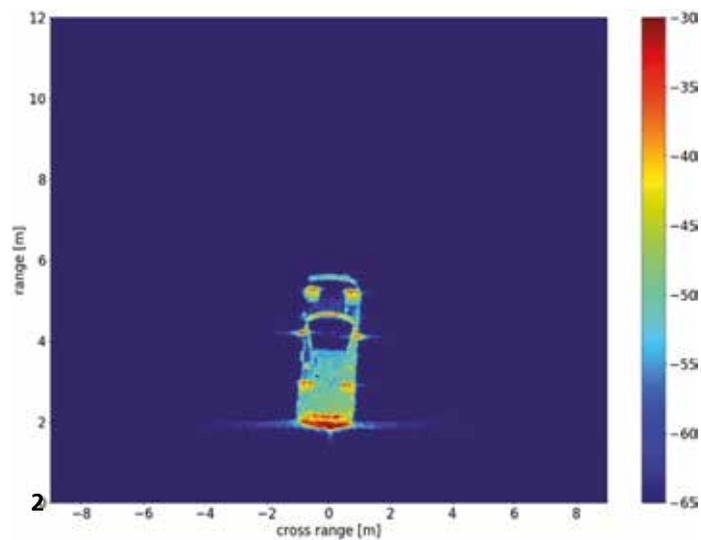
Automobil-Radarsensoren sind ein wesentlicher Bestandteil in zahlreichen bereits heute eingesetzten Fahrerassistenzsystemen und spielen neben Lidarsensoren und Kamerasystemen eine zentrale Rolle für die Entwicklung des autonomen Fahrens. Die verwendeten Radarsensoren müssen das Umfeld detektieren und auflösen können. Die zuverlässige Funktion solcher Radarsensorik kann mit Hilfe von Hardware-in-the-Loop bzw. Software-in-the-Loop Tests auf Basis von simulierten Daten untersucht werden.

Um die Eigenschaften der von Verkehrsteilnehmern erzeugten Radarsignaturen zu bestimmen, müssen Verkehrsszenarien elektromagnetisch modelliert und analysiert werden. Die Software GOPOSim, bei der ein deterministisch analytischer Ray-Tracing-Ansatz verwendet wird, ermöglicht es zeitdynamische Verkehrsszenarien elektrodynamisch zu simulieren. Um eine effiziente Modellierung und kurze Simulationslaufzeiten zu erreichen, werden während der Laufzeit CAD-Modelle der Verkehrsteilnehmer, die in der entsprechenden Verkehrsszene positioniert sind, geladen und in ein geeignetes Streuzentrenmodell überführt. Auf diese Weise berechnet GOPOSim zeitdiskret die Radarsignaturen der Verkehrsszenarien unter Berücksichtigung

der physikalischen Eigenschaften. Der zeitabhängige Verlauf der zu simulierenden Szene wird mit einer entsprechenden Trajektorie der jeweiligen Simulationsobjekte beschrieben. Um einen stetigen Verlauf des Ortes der Simulationsobjekte zu gewährleisten, wird die Trajektorie im dreidimensionalen Bezugssystem mit einer Startposition, einer vektoriellen Startgeschwindigkeit sowie beliebig vielen überlagerten vektoriellen Beschleunigungen, die für jeweils ein festgelegtes zeitliches Intervall gültig sind, definiert. Bei einem bewegten Fahrzeug wird die Trajektorie der Räder separiert beschrieben. Sie setzt sich aus der Überlagerung der Trajektorie des dazugehörigen Fahrzeugs und einer entsprechenden rotierenden Trajektorie zusammen. Auf diese Weise können bei der späteren Prozessierung der Daten Mikrodopplereffekte der Räder ausgewertet werden. Mit Hilfe der Mikrodopplersignatur kann bei der späteren Signalverarbeitung der Daten eine Klassifizierung erfolgen.

Simulationsansatz

Die Simulation der zeitdynamischen Prozesse basiert auf einem Ray-Tracing-Algorithmus sowie auf Physikalischer Optik (PO). Die Berechnung der Strahlwege erfolgt über die Geometrische Optik (GO) oder Strahlenoptik. So werden zu jedem diskretisierten Zeitschritt die realisierbaren Strahlwege nach einem deterministischen analytischen Ray-Tracing-Ansatz generiert. Bei der Berechnung der Strahlwege können auch Mehrwegeausbreitungen bis zu einem gewissen Grad berücksichtigt werden. Das ermöglicht, Interaktionen der Simulationsobjekte zu modellieren, die beispielsweise als Reflektionen an Straßenoberflächen auftreten. Das Streuverhalten der Simulationsobjekte wird mit Hilfe der PO zur Laufzeit berechnet.



Anwendungen

GOPOSim ist in erster Linie zur Simulation von zeitdynamischen Prozessen konzipiert. Die Simulationsergebnisse können in verschiedenen Formaten ausgegeben werden. Nach Verarbeitung der Rohdaten kann das simulierte Radarsignal z. B. als Range-Doppler-Map, als Dopplersignatur oder als HRR (High-Range-Resolution)-Profil prozessiert werden. In der Abbildung 2 ist ein ISAR Bild (Inverse synthetic aperture radar) eines Golfs III dargestellt und die Abbildung 3 zeigt verschiedene HRR-Profile des Fahrzeugs in Abhängigkeit des Betrachtungswinkels. Mit Hilfe des RTS-Formates (Radar Target Simulator) wird z. B. der am Fraunhofer FHR entwickelte Radarzielsimulator ATRIUM® gespeist. Kritische Verkehrsszenarien werden so über eine passende Antennenanordnung einem zu testenden Radarsensor vorgespielt. Der Radarzielsimulator analysiert hierzu das von einem Radarsensor ausgesendete Signal, synthetisiert die entsprechende Antwort der Szene und sendet diese wieder zum Radarsensor zurück.

Darüber hinaus kann mit der Software der monostatische sowie der bistatische RCS (Rückstreuquerschnitt) von Objekten, die in einem CAD Modell vorliegen, berechnet und als Funktion des Winkels visualisiert werden. In Abbildung 1 ist der RCS eines Golfs III mit einer Auflösung von 720 Winkelschritten 360° um das Fahrzeug herum dargestellt. Am Fraunhofer FHR werden zukünftig weitere Schnittstellen, z. B. für »Software in the Loop«-Simulationen realisiert. Die elektromagnetische Simulation zeitdynamischer Prozesse erfordert jedoch große Rechenkapazitäten und benötigt enorme Rechenzeiten.

Um eine EM Simulationssoftware als CO-Simulation zu Verkehrssimulationen einsetzen zu können, ist es erforderlich, dass die Rechengeschwindigkeit mindestens so schnell sein muss wie der reale zeitliche Ablauf der Szene (Realtime-Simulation). Aktuell wird diese Anforderung für begrenzt komplexe Verkehrsszenarien bereits erfüllt. GOPOSim wird zukünftig durch eine geeignete GPU-Programmierung weiter beschleunigt um die Realtime Anforderung auch bei komplexen Szenen zu gewährleisten.

1 Radarrückstreuquerschnitt Golf III.

2 ISAR Bild Golf III.

3 HRR- Profile Golf III.

M. Eng.

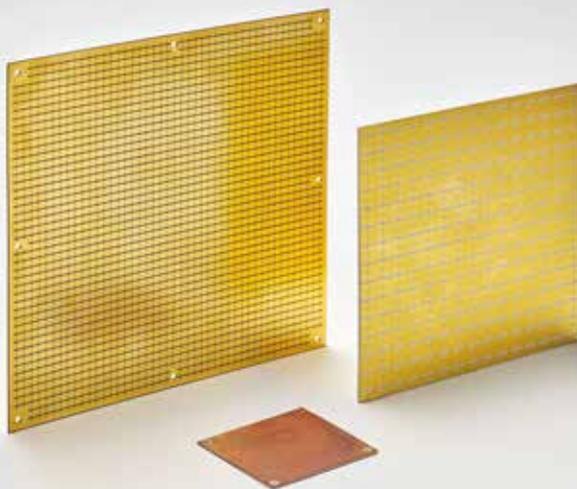
Stefan Wald

Tel. +49 228 9435-771

stefan.wald@

fhr.fraunhofer.de

1



POLARIMETRIE MIT PERFORM

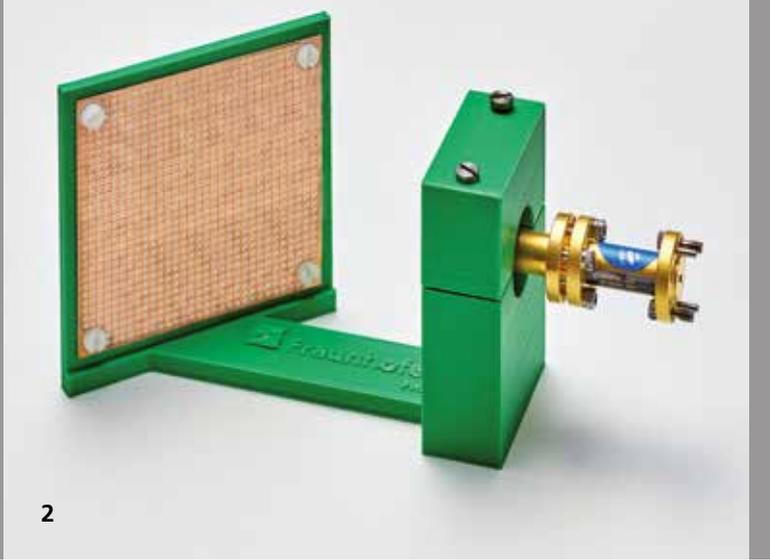
Die Verwendung der Polarisierung elektromagnetischer Wellen bei Radarmessungen birgt großes Potential zur Erkennung und Klassifikation von Zielen in heterogenen Szenen. PERFORM macht die Radarpolarimetrie kostengünstig verfügbar und kann nachträglich in Bestandssysteme integriert werden.

Auch für moderne Radarsysteme ist das Erkennen, Unterscheiden und Charakterisieren von Radarzielen immer dann eine besonders große Herausforderung, wenn sich diese in einer sehr uneinheitlichen Umgebung befinden. Vielversprechend ist hier die Radarpolarimetrie. Sie kann Radarziele wesentlich umfangreicher charakterisieren als konventionelle Radare. Jedes Objekt streut ein Radarsignal auf charakteristische Weise zurück. Dieses physikalische Prinzip nutzen alle Radarsysteme: Mit entsprechenden Signalverarbeitungsalgorithmen bestimmen diese aus dem reflektierten Signal Entfernung, Geschwindigkeit, Position, Größe und/oder Form des Radarziels. Je heterogener die Radarszene ist, je mehr unterschiedliche Objekte also für das Radar sichtbar sind, desto komplexer wird es jedoch, die reflektierten Wellen aus der Überlagerung unterschiedlicher Streumechanismen zu trennen und zu filtern. Mit polarimetrischen Radaren können Ziele in solchen Situationen deutlich einfacher voneinander unterschieden und identifiziert werden. Anders als herkömmliche Radare werden unterschiedlich polarisierte Hochfrequenzsignale, d. h. elektromagnetische Wellen mit verschiedenen Schwingungsrichtungen, abgestrahlt und empfangen. Aufgrund von Streu- oder Ausbreitungsmechanismen wird die Polarisierung charakteristisch verändert. Die empfangsseitige Polarisierungstrennung und anschließende polarimetrische Auswertung durch geeignete Zerlegungsverfahren erlaubt die Identifikation und

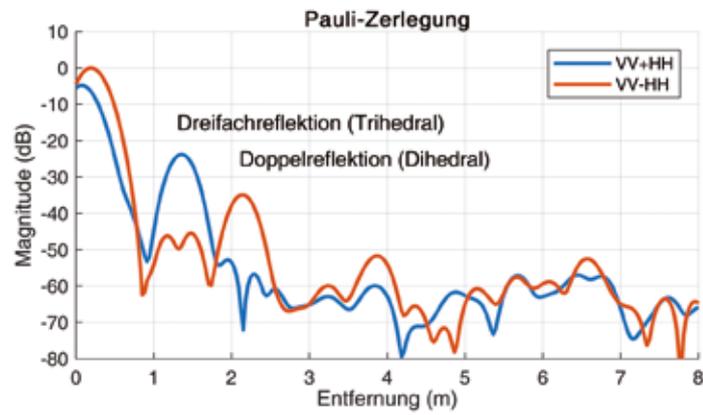
Unterscheidung von Objekten und Ausbreitungsphänomenen. Auf diese Weise wird der Kontrastumfang einer Szene deutlich erhöht. Es ist sogar möglich verdeckte Ziele zu detektieren, die mit klassischen Sensoren nicht erkennbar sind, solange diese die Polarisierung der einfallenden Welle verändern.

Anwendung findet dieses Prinzip bereits in der Fernerkundung und bei Wetterradaren. Im Rahmen der Fernerkundung können so Radarziele wie z. B. künstliche Bebauung und Vegetation diskriminiert sowie klassifiziert oder für das Precision Farming diverse Landschafts- und Vegetationsmerkmale voneinander getrennt und charakterisiert werden. Meteorologische Radarsysteme nutzen die Polarimetrie zur Erkennung verschiedener Niederschlagsteilchen, um so beispielsweise Hagel von Regen unterscheiden zu können. Allerdings sind bisherige polarimetrische Radarsysteme komplex und wegen eines erheblichen Mehraufwands an Hardware kostenintensiver und störanfälliger als konventionelle Radare.

Das Fraunhofer FHR hat deshalb mit PERFORM einen rein passiven Reflektor entwickelt, der vor die Sende- und/oder Empfangsantenne eines Radarsystems gesetzt werden kann und ohne zusätzliche Umschalter oder Sende- und Empfangszüge die Polarisierung der elektromagnetischen Wellen verändert. Die Kontrolle der Polarisierung erfolgt lediglich über unterschiedliche Frequenzbänder. Der Reflektor basiert auf einer Gruppenanordnung von gekoppelten Resonatoren, die entweder eine direkte Reflektion oder eine resonatorbasierte Polarisationsdrehung hervorrufen, je nachdem welches Frequenzband genutzt wird. Mit deutlich reduziertem Hardwareaufwand als bisher sind so günstigere, kompaktere und robustere polarimetrische Radare realisierbar.



2



3

Neben geologischen oder meteorologischen Fragestellungen wie beispielsweise der Überwachung und Charakterisierung von Infrastruktur, Biomasse, Waldgebieten, Eisflächen oder Atmosphärenschichten sind weitere vielversprechende polarimetrische Anwendungen in den Bereichen autonomes Fahren, Weltraumüberwachung oder Verteidigung möglich. Bestehende Radarsysteme sind mit einem PERFORM-Reflektor kostengünstig nachrüstbar. Aufgrund des Innovationsgrades und der vielseitigen Anwendungsmöglichkeit des Systems wurde ein Patent angemeldet.

Mehrere Prototypen im Ku-Band (14,1-15,9 GHz), Ka-Band (32,9-37,1 GHz) und E-Band (77,0-81,0 GHz) wurden bereits am Fraunhofer FHR erfolgreich realisiert und das Funktionsprinzip durch gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung nachgewiesen. In den kommenden Monaten soll ein Prototyp im Ka-Band für polarimetrische SAR-Messungen aus der Luft verwendet werden, um erste Radarabbildungen zu erzeugen.

Das Fraunhofer FHR erschließt auf diese Weise die Radarpolarimetrie für seine Kunden und Partner und verhilft deren Radarsystemen durch die optimale Anpassung an die jeweiligen Aufgabenfelder zu einer deutlich klareren Sicht.

1 PERFORM-Reflektoren für Ku-, Ka- und E-Band.

2 Anordnung für Messungen im E-Band. Die Halterung auf der rechten Seite umschließt eine linear polarisierte Hornantenne, an die ein Radar angeschlossen werden kann.

3 Mit E-Band-Messanordnung aufgenommene Entfernungsprofile. Durch polarimetrische Auswertung konnte so ein Doppel- von einem Tripelreflektor unterschieden werden.



Dr.-Ing.

Thomas Dallmann

Tel. +49 241 80-22271

thomas.dallmann@

fhr.fraunhofer.de



ANTENNENENTWICKLUNG FÜR ZUKÜNFTIGE AUTOMOBILRADARE

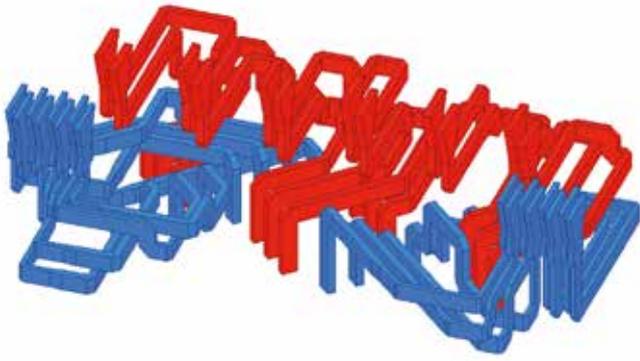
Radar ist der wichtigste Sensor für autonomes Fahren. Ein hohes räumliches Auflösungsvermögen wird durch eine große Anzahl von Antennen erreicht, welche alle jeweils mit einzelnen Toren integrierter Radar-ICs verbunden werden müssen. Bei der Auslegung der komplexen hochfrequenztechnischen Verbindungsnetzwerke stoßen die bisher verwendeten Leiterplattentechnologien an ihre Grenzen.

Die Vision des autonomen Fahrens ist mittlerweile in greifbare Nähe gerückt. Ermöglicht wird dies durch die intelligente Fusion einer Reihe verschiedener aktiver Sensoren wie Lidar, Radar und solcher basierend auf Ultraschall in Kombination mit passiven Sensoren wie optischen Kameras, Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsmessern, Empfängern für die globalen Navigationssatellitensysteme (GNSS) in Verbindung mit digitalen Karten und dem Datenaustausch des Fahrzeugs mit seiner Umgebung (car-2-x-Kommunikation). Unter den aktiven Sensoren nimmt Radar eine besondere Stellung ein. Einige der Vorteile – neben den relativ geringen Kosten – sind die Allwettertauglichkeit, die Reichweite und die Vielfalt an Informationen, die aus den Radarsignalen gewonnen werden kann.

In der Radartechnik ist eine große Anzahl unterschiedlicher Verfahren bekannt, mit denen Position, Geschwindigkeit und spezielle Eigenschaften eines einzelnen Objekts bestimmt und mehrere Objekte voneinander getrennt werden können. Im Automobilbereich hat sich aus Kostengründen

die Kombination frequenzmodulierter Dauerstrichsignale (FMCW) zur Bestimmung der Entfernung und der radialen Geschwindigkeit mit einer Richtungsbestimmung anhand des Vergleichs der Empfangsphase mehrerer Empfangsantennen (*digital beamforming*) durchgesetzt. Dazu werden meist separate Sende- und Empfangsantennen verwendet. Die Minimalkonfiguration besteht aus einer Sendeantenne und zwei Empfangsantennen. Die Empfangsantennen werden dabei in einem horizontalen Abstand von einer halben Freiraumwellenlänge angeordnet. Damit lassen sich unter idealen Bedingungen einzelne Objekte in der horizontalen Ebene in verschiedenen Entfernungen detektieren. Um Verschlechterungen der Wellenausbreitungsbedingungen, verursacht z. B. durch eine Antennenabdeckung (Radom) oder eine weitere Kunststoffabdeckung (Herstelleremblem, Stoßfänger, usw.), Herstellungstoleranzen oder Verschmutzungen entgegenzuwirken und um mehrere Reflexionen in der gleichen radialen Entfernung unter verschiedenen Winkeln trennen zu können, werden i. d. R. drei oder mehr Empfangsantennen verwendet. Die Empfangsantennen können dabei auch in vertikaler Richtung verschoben zueinander angeordnet werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, ebenfalls die Höhe von Objekten über dem Erdboden zu messen.

Die nächste Ausbaustufe verwendet schließlich mehrere Sendeantennen an verschiedenen Positionen. Durch geschickte räumliche Verteilung der Sende- und Empfangsantennen kann nach dem multiple-input/multiple-output (MIMO) Prinzip eine virtuelle Gruppenantenne erzeugt werden, deren räumliches Auflösungsvermögen deutlich besser ist, als die reale Apertur des Radarsensors es zulassen würde. Die



2

Hersteller automobiler Radarsensoren arbeiten derzeit z. B. an Systemen mit 12 Sende- und 16 Empfangsantennen. Die dazu nötigen hochintegrierten Hochfrequenzschaltungen (MMICs) mit FMCW-Radarsignalerzeugung und entsprechenden Empfängern werden gegenwärtig von mehreren großen IC-Herstellern wie Infineon, Texas Instruments oder NXP angeboten. Diese MMICs verfügen typischerweise über drei unabhängige Sende- und vier Empfangskanäle. Mit vier dieser MMICs lässt sich somit einer der oben erwähnten Radarsensoren aufbauen.

Aus Kostengründen werden als Antennenelemente meist gedruckte Strahlerelemente wie Mikrostreifenantennen oder oberflächenintegrierte (SIW), geschlitzte Hohlleiter eingesetzt, da diese monolithisch mit den Radar-MMICs und evtl. weiteren Elektronikbauelementen auf der selben gedruckten Leiterplatte integriert werden können. Bei einer so großen Anzahl von Antennenelementen wie die aktuellen Generationen der Radarsensoren sie verwenden möchten, wird die Führung der Hochfrequenzleitungen zwischen MMICs und Antennen allerdings zu einer großen Herausforderung. Eine Lösung auf Basis gedruckter, mehrlagiger Schaltungen scheint aufgrund der dazu nötigen großen Anzahl von Lagen, Lagenwechseln und insbesondere der Leitungsverluste unrealistisch.

Im Auftrag der Firma Continental ADC Automotive Distance Control Systems GmbH hat das Fraunhofer FHR einen ersten Schritt in Richtung einer Antennenlösung basierend auf gefrästen, metallischen Hohlleitern und Sektorhornantennen entwickelt. Das komplexe Speisetzwerk zwischen MMICs und Antennen wurde als Schichtaufbau zunächst in Aluminium realisiert. Eine speziell angepasste Abdeckung aus radarabsorbierendem Material der nicht genutzten Bereiche auf der Antennenseite der Hohlleiterschaltung soll die Installation eines Radoms und die Integration in ein Fahrzeug vereinfachen. Die Vollwellensimulation und die Vermessungen der Antenneneigenschaften haben eine hohe Strahlungseffizienz, geringe gegenseitige Antennenkopplung und sehr störungsarme Strahlungsdiagramme ergeben. Erste Radarexperimente verliefen sehr vielversprechend. Der nächste Entwicklungsschritt konzentriert sich nun auf eine kostengünstige Herstellung mit anderen Materialien und Verfahren.



3

1 Radarsensoren mit einer guten räumlichen Auflösung sind unerlässlich für die Sicherheit autonomer Fahrzeuge.

2 Automobile MIMO-Radare auf Basis heutiger MMICs benötigen komplexe Netzwerke von Hochfrequenzleitungen, zum Anschluss einer großen Anzahl von Einzelantennen. Die Hohlleitertechnologie bietet hier große Flexibilität und geringste Verluste.

3 Ein erster Prototyp einer Hohlleiterantenne mit komplexer Leiterführung wurde am FHR entwickelt, aufgebaut und charakterisiert.



Dr.-Ing.
Thomas Bertuch
Tel. +49 228 9435-561
thomas.bertuch@
fhr.fraunhofer.de



NEUE IMPULSE IN DER MAGNET-RESONANZ-BILDGEBUNG DURCH METAMATERIALIEN

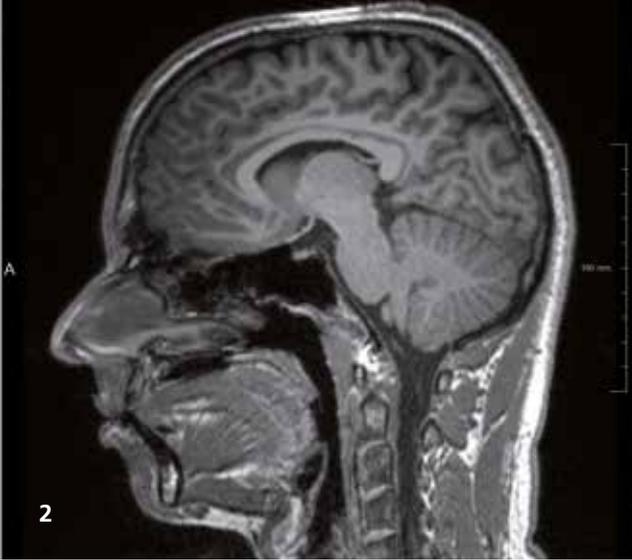
Die Magnet-Resonanz-Tomographie ist mit Abstand die leistungsfähigste, aber auch technisch herausforderndste medizinische Bildgebungstechnologie. Mit neuen Konzepten basierend auf der Anwendung von Metamaterialien lassen sich neue Anwendungsfelder erschließen sowie Limitierungen bestehender Verfahren überwinden.

In der medizinischen Bildgebung hat sich die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) in den letzten Jahrzehnten zu einem unverzichtbaren Instrument der klinischen Diagnostik und in gewissen Bereichen auch der Therapieunterstützung entwickelt. Dies ist zum einen in der unerschöpflich erscheinenden Vielfalt der Kontrastmechanismen begründet, die von der Darstellung von morphologischen Strukturen (selbst unterhalb des eigentlichen Auflösungsvermögens!) bis zu physiologischen und physikalischen Prozessen reicht (Durchblutungsmessung, Diffusionsprozesse, Elastizität, usw.). Zum anderen ist aber auch das vollständig nichtinvasive Funktionsprinzip und die Unschädlichkeit für den menschlichen Körper im Gegensatz zu vielen anderen Verfahren der medizinischen Bildgebung (wie Computer-Tomographie, Positronen-Emissions-Tomographie oder Szintigraphie mit ihrer ionisierenden Strahlung) ein wichtiges Argument. Allerdings geht dies zu Lasten eines hohen technischen Aufwands, der für qualitativ hochwertige MRT-Aufnahmen notwendig ist. MR-Scanner sind die bei weitem technisch anspruchsvollsten Geräte der medizinischen Diagnostik. Das starke magnetostatische Feld, das zur »Erzeugung« der makroskopischen Kernmagnetisierung verwendet wird, sowie die zeitlich veränderlichen Magnetfeldgradienten und die Radiofrequenz-Wellen zur »Anregung«

der Magnetisierung wechselwirken mit dem Patientenkörper und potenziellen weiteren Geräten, die sich in oder in der Nähe des MR-Tomographen befinden. Aufwendige technische Lösungen sind notwendig, um körperliche Beeinträchtigungen des Patienten zu vermeiden und qualitativ hochwertige Bildaufnahmen zu ermöglichen. Hier scheinen z. T. die Möglichkeiten der aktuellen Ingenieurskunst ausgeschöpft zu sein, da in einigen Bereichen seit vielen Jahren keine wesentlichen Verbesserungen vorgenommen wurden. In diesem Zusammenhang seien beispielhaft die Mantelwellensperren, aber auch das Grundprinzip der räumlichen Kodierung in der MRT genannt.

Mit neuen Konzepten zur Lösung typischer Problemstellungen in der MRT lassen sich neue Anwendungsfelder erschließen, sowie Limitierungen bestehender Lösungsansätze überwinden. In den letzten Jahren hat eine neuartige »Materialklasse« mit besonderen Eigenschaften für Aufsehen gesorgt, mit der viele Probleme neu durchdacht werden können. In der Medizintechnik wurde diese Materialklasse bis jetzt nur in einzelnen Forschungsgruppen untersucht, wobei allerdings noch keine kommerzielle Reife erreicht wurde. Es handelt sich dabei um sogenannte Metamaterialien (MTM).

Die spektakuläre Eigenheit von Metamaterialien besteht darin, dass damit künstliche Materialien mit effektiven Eigenschaften möglich werden, die für die jeweilige Anwendung maßgeschneidert werden können. Dabei lassen sich sogar Materialeigenschaften realisieren, die in der Natur normalerweise nicht vorkommen. Bei hochfrequenztechnischen Metamaterialien werden diese makroskopischen elektromagnetischen Eigen-



schaften durch mikroskopische, in der Regel periodische Schaltungsstrukturen erzeugt, die sich z. B. durch kostengünstige Standardverfahren der Leiterplattenherstellung realisieren lassen. Einige der so erzielbaren elektromagnetischen Effekte sind negative Brechungsindizes, die eine perfekte Fokussierung weit jenseits des Beugungslimits erlauben oder Frequenzbänder in denen eine Wellenausbreitung unterbunden wird.

In einem Fraunhofer-internen Forschungsprojekt kooperieren das Fraunhofer-Institut für Digitale Medizin MEVIS und das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR, um Anwendungsmöglichkeiten der MTM-Technologie zur Verbesserung der MR-Bildgebung auszuloten und darauf basierende, produktnahe Lösungen zu erarbeiten. So soll es möglich werden, beliebige elektrische Leitungen innerhalb des MRT ohne Störungen verwenden zu können. Ebenso soll das Signal-zu-Rausch-Verhältnis in relevanten Volumenbereichen verbessert werden. Überdies werden spezielle Metamaterialinseln entwickelt, die ein fundamental neues MRT-Konzept ermöglichen könnten. Angelehnt an die entwickelten Lösungskonzepte soll schließlich mittel- bis langfristig eine flexible Entwurfsplattform für weitere MTM-Anwendungen im MRT-Bereich entstehen.

1 *Typischer Magnet-Resonanz-Tomograph mit dem charakteristischen, supraleitenden Permanentmagnet und der Patientenliege.*

2 *Beispiel einer typischen MRT-Aufnahme. Die einzelnen Gewebearten lassen sich anhand verschiedener Graustufen identifizieren.*

3 *Das Fraunhofer FHR verfügt über umfangreiche Messeinrichtungen zur Untersuchung der Wirksamkeit neuer metamaterialbasierter Lösungsansätze für hochfrequenztechnische Problemstellungen der MR-Bildgebung.*



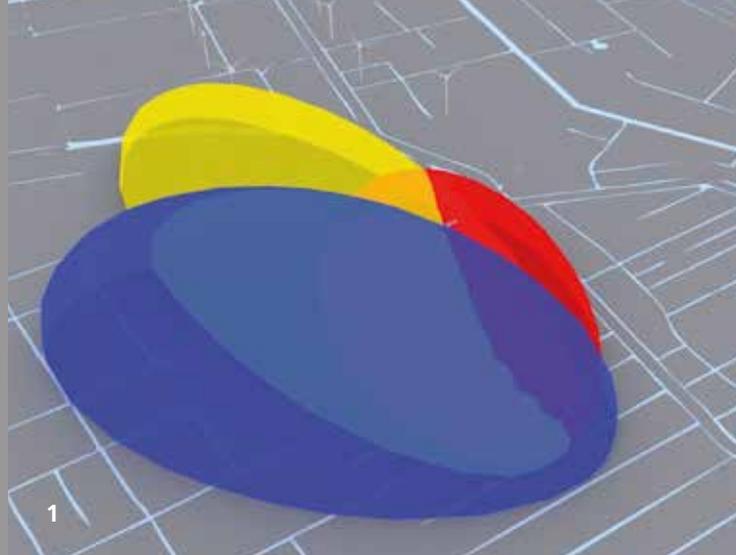
Dr.-Ing.

Thomas Bertuch

Tel. +49 228 9435-561

thomas.bertuch@

fhr.fraunhofer.de



PASSIV-RADAR STEUERT NACHTKENNZEICHNUNG VON WINDKRAFTANLAGEN

Windenergie ist ein wichtiges Standbein der Energiewende. Jedoch sorgt insbesondere die nachts störende, rot blinkende Warnbeleuchtung für Ablehnung bei den betroffenen Bürgern im Umland. Das passive Radarsystem PARASOL zur bedarfsgerechten Nachtkennzeichnung, anerkannt durch die Deutsche Flugsicherung, kann hier ab sofort umweltverträglich und kostenbewusst Abhilfe schaffen.

Luftfahrthindernisse wie Windenergieanlagen müssen ab einer Höhe von über 100 Metern nachts durch rot blinkende Beleuchtung besonders gekennzeichnet werden. In den meisten Fällen ist dies nur in weniger als 1 - 2 Prozent der Zeit erforderlich, nämlich nur dann, wenn sich dem Windpark tatsächlich ein Luftfahrzeug nähert. Diese Luftfahrzeuge werden bei anderen auf dem Markt verfügbaren Systemen mittels aktiven Radaren erkannt. Da hier die sichtbare Strahlung der Beleuchtung durch unsichtbare Strahlung der aktiven Radare ersetzt wird, stoßen diese Systeme genauso auf Ablehnung wie die Beleuchtung. Das hat dazu geführt, dass aktuell angebotene aktive Systeme nicht den gewünschten Absatz finden. Das passive Radarsystem PARASOL, das in Zusammenarbeit mit dem Windparkbetreiber Dirkshof in Reußenköge und mit einer Förderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) entwickelt wurde, ist eine bessere Lösung ohne zusätzliche Emissionen.

Das System PARASOL

Das System PARASOL – Passiv Radar basierte Schaltung der Objektkennzeichnung für die Luftfahrt – nutzt zur Detektion von anfliegenden Luftfahrzeugen bereits vorhandene Rundfunk- und TV-Signale und gibt somit keine zusätzlichen elektromagnetischen Emissionen ab. Es sind daher keine teure Frequenzzuteilung und Standortbescheinigung nach § 4 BEMFV erforderlich. Die genutzten DVB-T, DVB-T2 und DAB+ Netze sind bereits flächendeckend verfügbar. So entstand ein besonders umweltverträgliches, kostenbewusstes und vor allem ein die Akzeptanz förderndes Warnsystem.

Das Fraunhofer FHR hat jahrelange Erfahrung auf dem Gebiet des Passiv-Radars, insbesondere unter Nutzung der modernen digitalen Rundfunknetze. Durch die Auswahl von zuverlässigen Systemkomponenten und stabilen sowie realzeitlichen Algorithmen war es möglich, diese in den Anfängen als Machbarkeitsstudie begonnen Arbeiten zur Systemreife zu perfektionieren. Der krönende Abschluss war im Mai 2018 die Anerkennung des Systems durch die Deutsche Flugsicherung (DFS). Seitdem verrichtet die erste Installation im Windpark Reußenköge ihren Dienst und viele weitere werden folgen.

Die Funktionsweise

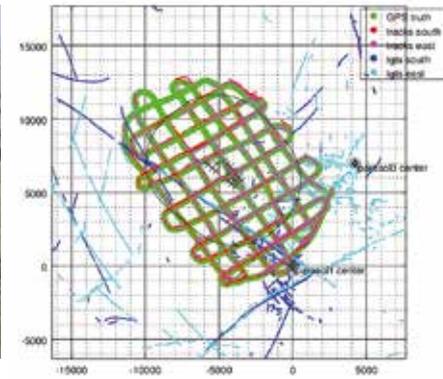
Im Windpark Reußenköge sind maßgeblich die Aussendungen der DVB-T2 Sender Flensburg und Kiel zu empfangen. Die Signale dieser Fernsehsender sowie die Echos dieser Signale an Luftfahrzeugen werden von den PARASOL-Sensoren aufgenommen. Dabei erfahren die Echsignale einen Zeitversatz



2



3



durch den Umweg, den das Signal durchläuft, sowie eine Dopplerverschiebung bedingt durch die Bewegung des Luftfahrzeuges. Nach Rekonstruktion des ausgesendeten Signals wird dieses mit den empfangenen Echos korreliert und darüber die Parameter Umweg und Dopplerverschiebung gemessen. Zur genauen dreidimensionalen Ortung des Luftfahrzeuges wäre nun der Empfang an einem Sensor mit einer Antenne, die eine Richtungsbestimmung erlaubt möglich. Stattdessen wurde eine Anordnung von drei Sensoren gewählt, um die Verwendung eines einfachen Hardwareaufbaus zu erlauben, der ohne Wartung und umfangreiche Kalibration auskommt. Ein Sensor besteht jeweils aus einer einfachen Empfangsantenne, einer Empfangseinheit sowie einem handelsüblichen Rechner. Die Sensoren kommunizieren untereinander über ein Netzwerk im Windpark und bestimmen über ein Ellipsoidschnittverfahren die Position möglicher Luftfahrzeuge.

Im Windpark Reußenköge wurden zwei dieser Tripel installiert, um den gesamten Windpark mit einer Größe von etwa 120 Quadratkilometern abzudecken. Dabei wird mit einem Sensor eine einzelne Reichweite von bis zu 15 km gegenüber einem Luftfahrzeug mit einem Radarrückstreuquerschnitt von 1 Quadratmeter (Ultraleichtflugzeug) erreicht. Eine besondere Herausforderung war dabei die Entwicklung von zuverlässigen Verfahren, die eine Entdeckung dieser kleinen Ziele im Umfeld der rotierenden Windenergieanlagen erlauben.

Planung von PARASOL Installationen

Zur zielgerichteten Planung der PARASOL Installationen wurde eine Software erarbeitet, die es erlaubt bevorzugte Standorte für die Aufstellung der Passiv-Radar-Sensoren zu bestimmen. Der leichte Aufbau der Sensoren erlaubt es die Standorte frei und unabhängig von bestehenden Windenergieanlagen oder Gebäuden zu wählen. Die Sensoren können aber auch vorhandene Infrastrukturen nutzen und so in bestehende Begebenheiten integriert werden.

Weitere Verwendung von PARASOL

Als Detektor für kleine Luftfahrzeuge im Umfeld von Windenergieanlagen funktioniert PARASOL zuverlässig. Daher wird in der Zukunft am Fraunhofer FHR die Nutzung zur Detektion von Drohnen im Bereich des Objektschutzes untersucht. Hier besteht das Potential zur Verwendung von leichten mobilen Sensoren und mit einer weiterentwickelten Dislozierungssoftware, ein Überwachungssystem mit kurzer Inbetriebnahmezeit aufzubauen.

- 1 Schnitt dreier Ellipsoide zur 3D-Ortung.
- 2 Fest installierte und mobile Antenneneinheit
- 3 Erfliegung des Windparks zur Anerkennung durch die DFS.



Dipl.-Ing.
 Jörg Heckenbach
 Tel. +49 228 9435-367
 joerg.heckenbach@
 fhr.fraunhofer.de



KLEINSTE MIMO-SENSOREN FÜR DREIDIMENSIONALEN DURCHBLICK BEI SCHWIERIGEN UMWELTBEDINGUNGEN

Mit einer erfolgreichen Demonstration im Brandhaus der Feuerwehr Dortmund wurde im Juni 2018 das Europäische Horizon2020-Forschungsprojekt SmokeBot abgeschlossen. Das Fraunhofer FHR erwies sich dabei als zuverlässiger Partner im Bereich integrierter MIMO-Radarmodule.

Sensor-Suite für die Erkundung verrauchter Gebäude

Das Projekt hat neue Wege in der Sensorik aufgezeigt, um auch in komplett rauchverhangenen Gebäudeteilen Robotern eine sichere Orientierung zu ermöglichen, Karten zu erstellen und damit Menschenleben zu retten. Koordiniert wurde das Projekt von Achim Lilienthal, Professor an der schwedischen Universität Örebro. Im Rahmen von SmokeBot startete das Projektteam einen Roboter der österreichischen Firma TAUROB mit einer Vielzahl an umgebungserkundenden Sensoren aus. Diese Sensor-Suite enthielt neben Lasermesstechnik, Infrarotkameras und Gassensoren auch ein hochintegriertes MIMO-Radar des Fraunhofer FHR.

Technologischer Vorsprung durch Silizium-Germanium Integration

Die Entwicklung am Fraunhofer FHR startete dabei bereits auf der Chipebene. Die Forscher entwickelten ein komplettes MIMO-Chipset bei 120 GHz. Jeder Chip umfasst dabei entweder 4 Sende- oder 4 Empfangskanäle auf einer Gesamtgröße

von weniger als 2x2 Millimetern. Diese Technologie erlaubte es dem Forscherteam bei einer Gesamtmodulgröße von nur 25 Zentimetern 24 Sende- und 24 Empfangskanäle zu realisieren und damit 576 Kombinationen für die winkelaufgelöste Bildgebung zur Verfügung zu stellen. Die auf linearen Frequenzchirps basierenden Einzelpulse wurden so optimiert, dass eine Sequenz aller 24 Sendepulse innerhalb von weniger als drei tausendstel Sekunden möglich wird.

Sowohl die Hochfrequenzelektronik als auch die Datenerfassung wurde dank des Einsatzes kompakter Digitalisierungselektronik in den Modulen untergebracht. Des Weiteren wurden eigene Konzepte zur Synchronisation aller 24 Empfangskanäle erarbeitet. Die Antennenelemente konnten direkt in das Gehäuse integriert werden.

Die entwickelten Module sind so trotz ihrer intern sehr hohen Komplexität leicht in Messsysteme zu integrieren. Eine einzige Versorgungsspannung und eine Standard-Netzwerkschnittstelle sind vom System dazu zur Verfügung zu stellen.

3D-Hinderniserkennung dank digitaler Bildrekonstruktionsalgorithmen

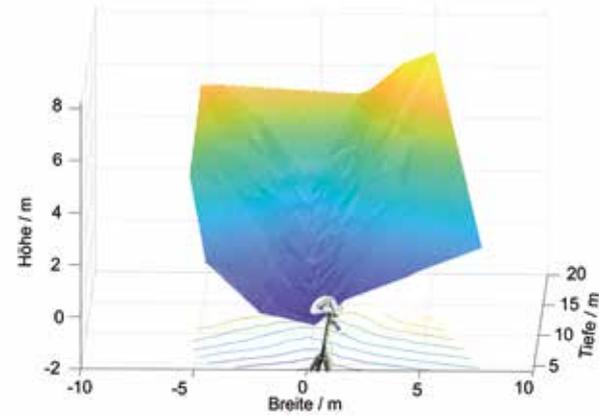
Jeder Messdatensatz wird mit Hilfe der am Fraunhofer FHR entwickelten 3D-Nahfeld-Rekonstruktionsalgorithmen zu einem dreidimensionalen Bild verrechnet. So lassen sich selbst durch Rauch, Nebel oder Gegenlicht Gegenstände, Türen oder Wände sicher lokalisieren. Die Bildqualität hängt dabei



2



3



wesentlich von der Antennenanordnung ab. Ein kleines Antennenarray mit hoher Dichte an Sende- und Empfangselementen liefert eine sehr hohe Bildqualität, während eine Verteilung der Antennen über eine größere Fläche eine höhere Bildauflösung zum Preis einer geringeren Bildauflösung ermöglicht. Das SmokeBot-Team am Fraunhofer FHR entschied sich für eine für das Projekt eigens entwickelte halbkreisförmige Verteilung der Antennenelemente. So können selbst mit nur 24x24 Kanälen Bildauflösungen von unter einem Grad über einen Winkelbereich von 45° in alle Richtungen erreicht werden. Die spezielle Antennenanordnung verteilt die durch die ausgedünnte Apertur verursachten Abbildungsartefakte dabei möglichst gleichmäßig über den gesamten Winkelbereich. Es werden damit 17dB Abbildungsdynamik erzielt. Eine derartige Bildqualität wird derzeit weltweit von keinem vergleichbaren Modul erreicht.

- 1 1:25 cm großes MIMO Radarmodul mit 24 Sende- und 24 Empfangskanälen.
- 2 MIMO-Radarbild einer einzelnen Person.
- 3 Aufnahme eines Erzlagers mit MIMO-Radar.

Zahlreiche Applikationen von der Menschdetektion bis hin zur Oberflächenrekonstruktion

Was dies hinsichtlich der Bildqualität bedeutet, ist in Abbildung 2 zu erkennen. Es wurde eine Person durch eine einzige Messung des Radars aufgenommen. Die Konturen des stehenden Menschen sind dank der hohen Auflösung klar zu erkennen. Um die Person herum tauchen jedoch Bildartefakte auf, die das ausgedünnte Antennenarray zur Ursache haben. Dennoch kann die Person deutlich erkannt werden. Durch die kurze Messdauer ist die Verfolgung von Bewegungen eine Möglichkeit, eine Vielzahl an Informationen aus den Daten zu gewinnen. Eine andere Applikation besteht in der ausgezeichneten Eignung der Radartechnologie raue Oberflächen zu erfassen. Abbildung 3 zeigt die dreidimensionale Erfassung eines Erzlagers. Gerade dunkle Oberflächen im Außenbereich sind mit optischen Technologien nur schwer zu erfassen. Eine radarbasierte Lösung bietet hier eine deutlich höhere Zuverlässigkeit. Die Möglichkeiten der neu entwickelten Technologie erweisen sich als vielfältig und werden noch zahlreiche weitere Forschungs- und Anwendungsfelder erschließen.

Erfolgreiche Demonstration selbst bei Null-Sicht-Bedingungen

Das Gesamtsystem wurde anlässlich des Final Review Meetings Ende Juni 2018 im Brandhaus der Feuerwehr demonstriert. Dabei konnte das MIMO-Radar des Fraunhofer FHR seine volle Leistungsfähigkeit zur Schau stellen. Selbst bei kompletter Verrauchung des Gebäudes, als die LIDAR-Sensoren und die installierten Kameras kein auswertbares Signal mehr lieferten, sicherte die Radartechnologie des Fraunhofer FHR die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems.



Dr.-Ing.
Reinhold Herschel
Tel. +49 228 9435-582
reinhold.herschel@
fhr.fraunhofer.de

VERÖFFENTLICHUNGEN

Für einen stets aktuellen Überblick über unsere zahlreichen Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften und Konferenzen finden Sie alle unsere Publikationen ab sofort auf unserer Internetseite.

Alle Publikationen 2018:

www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2018



Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften

www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2018-journals



Publikationen bei wissenschaftlichen Konferenzen

www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2018-konferenzen



Fraunhofer-Publikationsdatenbank:

<http://publica.fraunhofer.de>





AUSBILDUNG UND LEHRE

Vorlesungen

WS 2017/2018

Bertuch, T.: „Antennen und Wellenausbreitung“, FH Aachen, WS 2017/2018

Bongartz, J.: „Signalverarbeitung“, HS-Koblenz, WS 2017/2018

Bongartz, J.: „Medizinische Gerätetechnik“, HS-Koblenz, WS 2017/2018

Caris, M.: „Physikalisches Praktikum“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, WS 2017/2018

Cerutti-Maori, D.: „Signal processing for radar and imaging radar“, RWTH Aachen, WS 2017/2018

Ender, J.: „Radar – Techniques and Signal Processing I (Radarverfahren und -Signalverarbeitung I)“, Universität Siegen, WS 2017/2018

Heberling, D.: „Hochfrequenztechnik 1“, RWTH Aachen, WS 2017/2018

Heberling, D.: „Moderne Kommunikationstechnik - EMV für Mensch und Gerät“, RWTH Aachen, WS 2017/2018

Heberling, D.: „Wat is'n Dampfmachin' Technikphänomene in den Ingenieurwissenschaften (Ringvorlesung)“, RWTH Aachen, WS 2017/2018

Knott, P.: „Antenna Engineering“, RWTH Aachen, WS 2017/2018

Knott, P.: „Radar Systems II“, RWTH Aachen, WS 2017/2018

Lorenz, F.: „Measuring Techniques - Praktikum“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, WS 2017/2018

Lorenz, F.: „Risikomanagement in der Supply Chain“, EUFH Köln, WS 2017/2018

Pohl, N.: „Integrierte Hochfrequenzschaltungen für die Mess- und Kommunikationstechnik“, Ruhr-Universität Bochum, WS 2017/2018

Pohl, N.: „Elektronik 1: Bauelemente“, Ruhr-Universität Bochum, WS 2017/2018

SS 2018

Bongartz, J.: „Funktionsdiagnostik und Monitoring“, HS-Koblenz, SS 2018

Bongartz, J.: „Lasermmedizin und biomedizinische Optik“, HS-Koblenz, SS 2018

Bongartz, J.: „Signalverarbeitung“, HS-Koblenz, SS 2018

Brüggenwirth, S.: „Cognitive Sensorics“, Universität Siegen, SS 2018

Brüggenwirth, S.: „Kognitive Sensorik“, Ruhr-Universität Bochum, SS 2018

Caris, M.: „Physikalisches Praktikum“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, SS 2018

Heberling, D.: „Elektromagnetische Felder 2 (IK)“, RWTH Aachen, SS 2018

Heberling, D.: „Hochfrequenztechnik 2“, RWTH Aachen, SS 2018

Knott, P.: „Radar Systems I“, RWTH Aachen, SS 2018

Lorenz, F.: „Physics - Praktikum“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, SS 2018

Lorenz, F.: „Trends der Logistikforschung“, EUFH Köln, SS 2018

Lorenz, F.: „Qualitätsmanagement“, EUFH Brühl, SS 2018

O'Hagan, D.: „Antennas for all applications“, University of Cape Town; Südafrika, SS 2018

Pohl, N.: „Master-Praktikum Schaltungsdesign integrierter Hochfrequenzschaltungen mit Cadence“, Ruhr-Universität Bochum, SS 2018

Pohl, N.: „Integrierte Digitalschaltungen“, Ruhr-Universität Bochum, SS 2018

Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten

Arpe, O.: „Entwicklung eines rotierenden vollpolarimetrischen abbildenden Hochfrequenzsystems im W-Band“, Hochschule Koblenz, Master

Bell, R.: „Aufbau eines abbildenden, rotierenden Scanner-Systems bei einer Mittenfrequenz von 90 GHz“, Hochschule Koblenz, Master

Budoni, M.: „Development and Experimental Testing of an Initial Orbit Determination Algorithm based on Radar and Optical Data“, Università La Sapienza di Roma, Master

Carlioni, C.: „Kalman Filters for Autonomous Tracking of Space Objects with Radar and Optical Measurements“, Università La Sapienza di Roma, Master

Ceyhun, T.: „Risikomanagement von FuE-Großprojekten mit Schwerpunkt Weltraumüberwachungsradar GEST-RA“, Technische Hochschule Köln, Bachelor

Fabian, J. N.: „Entwurf und Charakterisierung eines netzwerkfähigen Umweltmonitoring-Systems“, Ruhr Universität Bochum, Bachelor

Lauxmann, L.: „Entwicklung eines Kalibrierverfahrens für dreidimensionale Nahfeldabbildung durch modulare Millimeterwellenscanner“, RWTH Aachen, Master

Minorowicz, M.: „Mikrocontroller-basierte Positionierung eines Mikroskops mit menügeführter Parameteranzeige“, Ruhr Universität Bochum, Bachelor

Reckter, J. S.: „Design dielektrischer Resonator Antennen und Herstellung dieser mittels generativer Fertigungstechniken (3D-Druck)“, KIT Karlsruher Institut für Technologie, Bachelor

Schemer, J.: „Einfluss der Bewegungstrajektorie auf die ISAR-Bildgebung“, TH Trier, Master

Schiraz, N.: „Analyse von DopplerSignaturen im Submillimeterwellenbereich“, Hochschule Koblenz, Bachelor

Saalmann, A.: „Untersuchung zur Erkennung von Flügelschlagmustern von Vögeln in Radardaten“, Universität Koblenz Landau, Master

Schemer, J.: „Einfluss der Bewegungstrajektorie auf die ISAR-Bildgebung“, TH Trier, Master

Schiraz, N.: „Analyse von DopplerSignaturen im Submillimeterwellenbereich“, Hochschule Koblenz, Bachelor

Schuth, K. S.: „Entwurf variabler Verzögerungsleitungen“, Hochschule Koblenz, Bachelor

Schwäbig, C.: „Konzeption und Realisierung eines bildgebenden Millimeterwellenscanners und Entwicklung eines Verfahrens zur

echtzeitfähigen Auswertung der Bilddaten“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Master

Wallek, J.-P.: „Evaluation der Herstellbarkeit von planaren Millimeterwellen-Schaltungen mit einem Laser-basierten Rapid-Prototyping-System“, Hochschule Koblenz, Master

Wenderoth, J.: „MIMO-Radarfrontend mit integriertem Antennenarray und orthogonaler Wellenformmodulation MIMO-Radarfrontend with integrated antenna array and orthogonal waveform modulation“, RWTH Aachen, Master



GREMIENTÄTIGKEITEN

Behrendt, D.

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Mitglied

Berens, P.

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR) 2018, Aachen: Program Committee Member, Awards Committee

Bongartz, J.

- Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF): Mitglied
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG): Mitglied

Brüggewirth, S.

- IEEE AESS Germany Chapter: Secretary
- International Radar Symposium (IRS) 2018, Bonn: Technical Program Committee
- EDA Radar Captech: German Governmental Expert

Cerutti-Maori, D.

- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC): Vertreterin der ESA in der Working Group 1 (Measurements)
- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR) 2018, Aachen: Technical Programme Committee
- Radar 2018: Technical Programme Committee member

Danklmayer, A.

- U.R.S.I. International Union of Radio Science, Commission-F Wave Propagation and Remote Sensing, Member
- VDE-ITG Fachausschuss 7.5 Wellenausbreitung, Mitglied Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON),

Mitglied im Fachausschuss Radartechnik

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR) 2018, Aachen: Technical Program Committee
- IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2018: Mitglied im Review Board
- International Radar Symposium (IRS) 2018, Bonn: Technical Program Committee
- IEEE -GRSS, -MTT, -AP-S: Member, SPIE: Member, IEICE: overseas Member

Ender, J.

- International Radar Symposium (IRS) 2018, Bonn: Technical Program Committee
- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR) 2018, Aachen: Technical Program Board
- International Workshop on Compressed Sensing applied to Radar, Multimodal Sensing and Imaging (CoSeRa 2018): Co-Chairman
- Mitglied im Rat der DGON (Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation)
- VDI-ITG Fachbereich 7: Fachbereichssprecher Hochfrequenztechnik

Gonzalez-Huici, M.

- International Workshop on Compressed Sensing applied to Radar, Multimodal Sensing and Imaging (CoSeRa 2018): Technical Program Committee
- TA 44 Germain-Israeli expert group on „Millimeter and Terahertz Waves: Technology and Applications“

Heberling, D.

- ITG-Fachausschuss 7.1 „Antennen“: Vorsitzender

- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2018, London: Mitorganisator, Mitglied des Steering Committees
- Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) 2018, Siegen: Wissenschaftlicher Beirat
- Antenna Measurement Technique Association (AMTA) 2018, Williamsburg: President
- Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG): Fachkollegiat
- Mitglied des IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.)
- Senior des IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers)

Klare, J.

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR) 2018, Aachen: Technical Program Committee
- International Radar Symposium (IRS) 2018, Bonn: Technical Program Committee
- European Microwave Week (EuMW) 2018, Nürnberg: Technical Review Committee
- International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES) 2018, Bali: Technical Program Committee
- International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI) 2018, Yogyakarta: Technical Program Committee
- International Conference and Workshop on Telecommunication, Computing, Electronics and Control (ICW-TELKOMNIKA) 2018, Yogyakarta: Technical Program Committee
- IEEE International Conference on Photonics (ICP), 2018, Langkawi: Technical Program Committee

Knott, P.

- Informationstechnische Gesellschaft (ITG) im VDE, Fachausschuss HF 4 „Ortung“: Vorsitzender
- IEEE Microwave Theory and Techniques (MTT) / Antennas and Propagation (AP) Joint Chapter, Executive Committee: Chair
- Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON) e.V.: Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat, Vorsitzender Fachausschuss Radartechnik
- European Association on Antennas and Propagation (EurAAP): Gewählter Regional Delegate
- NATO Research and Technology Organisation (RTO): „Member at Large“ des Sensors and Electronics Technology Panels
- 18. International Radar Symposium (IRS) in Bonn: Chair

Leushacke, L.

- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC): Nationaler Vertreter in der Working Group 1 (Measurements)

Nüßler, D.

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Mitglied
- VDI/VDE-GMA FA 8.17 Terahertz-Systeme: Mitglied
- European Machine Vision Association (EMVA): Mitglied
- OCM 2019: Technical Program Committee

Pohl, N.

- IEEE Topical Meetings on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SIRF 2018), Orlando, USA: Conference Chair
- European Microwave Week (EuMW) 2018, Nürnberg: Technical Program Committee
- International Radar Symposium (IRS) 2018, Bonn: Technical Program Committee
- International Microwave Symposium (IMS 2018), Philadelphia, USA: Technical Program and Review Committee, Student Design Contest Organizer
- IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS 2018), San Diego, USA: Technical Program Committee, CO-Chair for MM-Wave & THz ICs
- VDI ITG Fachausschuss 7.3 Mikrowellentechnik, Member
- IEEE MTT Technical Committee MTT-16, Microwave Systems, Member
- Mitglied des IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.)
- Senior Member des IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers)

Rial Villar, F.

- EDA Remote Intelligence of Building Interiors (RIBI): German Governmental Expert

Ribalta Stanford, A.

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR) 2018, Aachen: Program Committee Member

Uschkerat, U.

- DEA 1670 Counter Mine: Projektmitglied
- EDA Radar Captech: German Governmental Expert

Dr.-Ing. Ingo Walterscheid

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR) 2018, Aachen: Program Committee Member, Awards Committee
- IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2018: Scientific Committee Member

Weinmann, F.

- ITG-Fachausschuss 7.1 „Antennen“: Mitglied
- Microwave and Radar Week (MRW) 2018, Poznań, Poland: Session Chair und Mitglied des Technical Program Committee
- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2018, London, UK: Mitglied des Technical Review Committee



AUSZEICHNUNGEN

Filippini, F.; Colone, F.; Cristallini, D.; Bournaka, G.:

2018 Premium Award for Best Paper im Journal „IET Radar, Sonar & Navigation“ für die Veröffentlichung „Experimental results of polarimetric detection schemes for DVB-T-based passive radar“

Grenz, O.:

„Zweiter Platz AFCEA Bonn e.V. Studienpreis 2018“ für die Masterarbeit zum Thema: „Verlustoptimierung einer breitbandigen, doppelt polarisierten CBSP-Antenne im L-Band mit Betrachtung der Kreuzpolarisationsentkopplung, Fertigungsaspekten und Phased-Array Tauglichkeit“

Pohl, N.:

„Outstanding Young Engineer Award“ der Microwave Theory and Techniques Society (MTT-S) des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Rama, J.:

Friedrich-Wilhelm-Gundlach-Preis, TU Berlin für ihre Masterarbeit „Theoretischen Synthese der SAR-Trajektorie eines 3D-Radarscanners im Millimeterwellenbereich“

Walterscheid, I; Wojaczek, P.; Cristallini, D.:

„Best Poster Award“ für „Challenges and first results of an airborne passive SAR experiment using a DVB-T transmitter“ bei der 12th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), 4.-7. Juni 2018, Aachen

VERANSTALTUNGEN

Tagungsorganisation

„Wachtberg-Forum“,
28.6.2018, Wachtberg

„Kuratoriumssitzung“,
29.6.2017, Wachtberg

„International Summer
School on Radar/SAR“, 13.-
20.7.2018, Remagen

„ESA European Space Talks“,
15.11.2018, Wachtberg

EDA Workshop „AI and
Cognitive Technologies for
Radar, Comms and EW“, 3.-
4.12.2018, Brüssel, Belgien

Beteiligung an Messen und Fachausstellungen

Fraunhofer FHR-Stand bei
der Konferenz „Angewandte
Forschung für Verteidigung
und Sicherheit in Deutschland
2018“, 20.-22.2.2018, Bonn

Beteiligung am Gemein-
schaftsstand von Fraunhofer
bei der Messe „Anuga Food-
Tec“, 20.-23.3.2018, Köln

Beteiligung am Gemein-
schaftsstand bei der „Hanno-
ver Messe“, 23.-27.4.2018,
Hannover

Beteiligung am Gemein-
schaftsstand von Fraunhofer
im Rahmen der FMD, des
Weltraumlagezentrums der
Bundeswehr, des Bundes-
ministeriums für Wirtschaft
und Technologie (BMW),
des BDLI Space Pavillion bei
der „ILA Berlin Air Show“,
25.-29.4.2018, Berlin

Fraunhofer FHR-Stand bei der
Wissenschaftsnacht, 17.-18.
Mai 2018, Bonn

Fraunhofer FHR-Stand beim
„Tag der Bundeswehr“,
9.6.2018, Mannheim

Fraunhofer FHR-Stand
beim International Radar
Symposium (IRS) 2018, 20.-
22.6.2018, Bonn

Beteiligung am Gemein-
schaftsstand der Fraunhofer-
Allianz Verkehr bei der Messe
„SMM“, 4. - 7. September
2018, Hamburg

Beteiligung am Fraunhofer-
TNO Gemeinschaftsstand bei
der „European Microwave
Week (EUMW)“ 2018, 23.-
28.9.2018, Madrid, Spanien

Fraunhofer FHR-Stand bei
der „Security Essen“, 25.-
28.9.2018, Essen

Beteiligung am Gemein-
schaftsstand der Fraunhofer-
Allianz Space beim „Internationa-

l Astronautical Congress
2018“, 1.-5.10.2018, Bremen
Fraunhofer FHR-Stand bei
der „Bonding“, 16.10.2018,
Bochum

Fraunhofer FHR-Stand
beim „Technologietag“ der
Fraunhofer-Allianz Vision,
17.-18.10.2018, Jena

Fraunhofer FHR-Stand beim
„International Symposium
on Indirect Protection
(ISIP)“, 15.-19.10.2018, Bad
Reichenhall

Beteiligung am Gemein-
schaftsstand von Fraunhofer
im Rahmen der FMD bei
der „Electronica“, 13.-
16.11.2018, München

Fraunhofer FHR-Stand bei
der „Bonding“, 5.12.2018,
Aachen

Fraunhofer FHR-Stand beim
Bonner Netzwerkabend,
12.12.2018, Bonn

ANHANG



STANDORTE

Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR hat insgesamt fünf Standorte in Nordrhein-Westfalen.

Hauptsitz und Postanschrift

Fraunhofer FHR
Fraunhoferstr. 20
53343 Wachtberg

Tel.: +49 228 9435-227
Fax: +49 228 9435-627

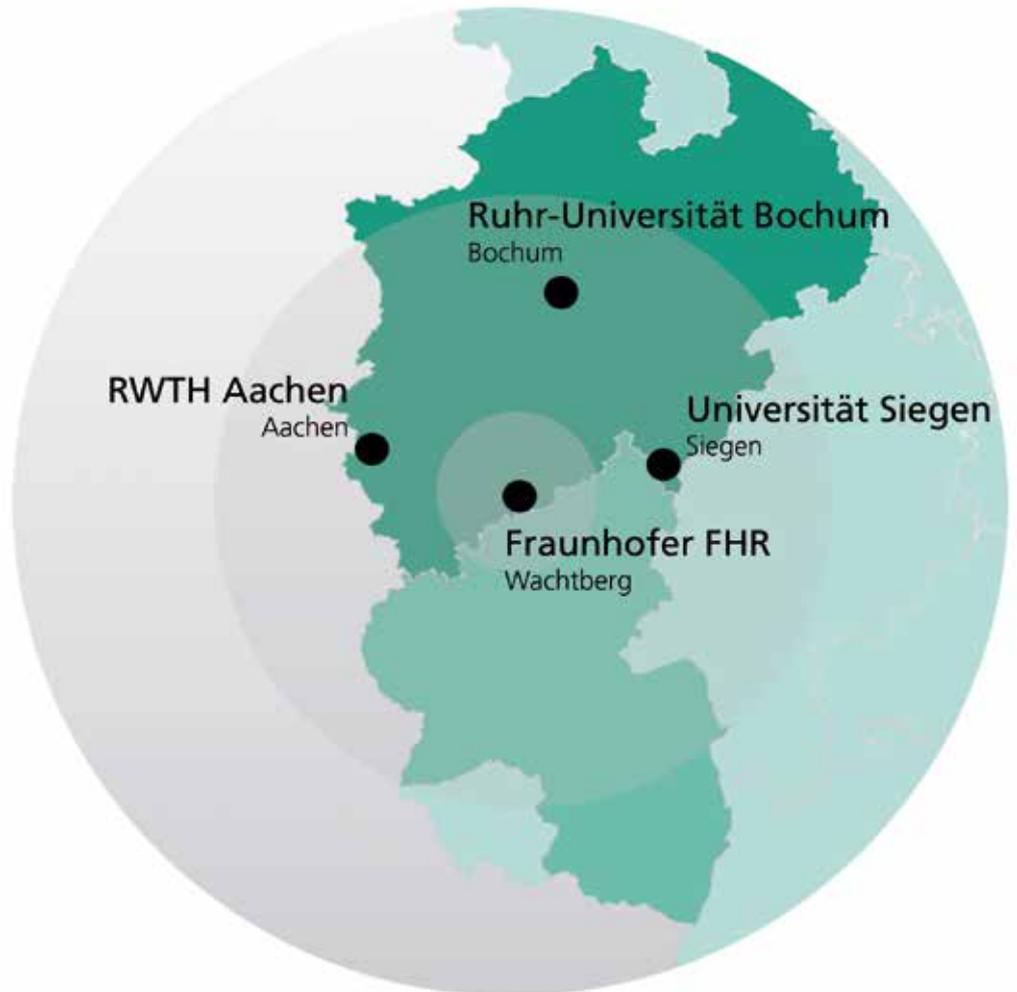
info@fhr.fraunhofer.de
www.fhr.fraunhofer.de

Institutsteil

Wachtberg-Villip

Siebengebirgsblick 22
53343 Wachtberg-Villip

Tel.: +49 228 9435-159
Fax: +49 228 9435-192



Forschungsgruppen an Universitäten

Forschungsgruppe Aachen

Melatener Str. 25
52074 Aachen

Tel.: +49 241 80-27932
Fax: +49 241 80-22641

Forschungsgruppe Bochum

Universitätsstraße 150
44801 Bochum

Tel.: +49 234 32-26495
Fax: +49 234 32-06495

Forschungsgruppe Siegen

Paul-Bonatz-Str. 9-11
57076 Siegen

Tel.: +49 271 740-3400
Fax: +49 271 740-4018

IMPRESSUM

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik
und Radartechnik FHR
Fraunhoferstr. 20
53343 Wachtberg

Tel.: +49 228 9435-227
Fax: +49 228 9435-627
info@fhr.fraunhofer.de
www.fhr.fraunhofer.de

Bilder

© Fraunhofer FHR, außer:
Titelbild, S. 3, S. 26 Abb. 1, S. 27 Abb. 3, S. 30, S. 31, S. 34
Abb. 3, S. 35 Abb. 2, S. 40, S. 41, S. 44, S. 46, S. 47, S. 48, S.
49, S. 55, S. 58, S. 59 Abb. 2, S. 61 Abb. 3, S. 63 Abb. 3: ©
Uwe Bellhäuser
S. 9 Abb. 2: © AFCEA
S. 16: Fraunhofer FHR / Vollrath
S. 18 Abb. 1 Abb. 2 Abb. 3, S. 34 Abb. 2: © Shutterstock
S. 20, Umschlag Innenseite: © Fraunhofer Gesellschaft
S. 22, S. 23: © Andreas Schoeps
S. 35 Abb. 1, Abb. 3: © Shutterstock/Fraunhofer FHR
S. 52: © CNES
S. 54: © SMP Deutschland GmbH
S. 60: © iStockphoto/Fraunhofer FHR
S. 62, S. 63 Abb. 2: © Fraunhofer-Institut für Digitale Medizin
MEVIS
S. 64, S. 65 Abb. 2 und Abb. 3: © PARASOL GmbH
S. 69: © iStockphoto

Alle Rechte vorbehalten.
Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der
Redaktion.

Wachtberg, April 2019

Chefredaktion

Dipl.-Volksw. Jens Fiege

Redaktion/Lektorat

M. A. Jennifer Hees
Dipl.-Biol. Christiane Weber

Layout und Satz

B. A. Jacqueline Reinders

Social Media



LinkedIn
<https://www.linkedin.com/company/fraunhofer-fhr>



Twitter
http://www.twitter.com/Fraunhofer_FHR



Facebook
<http://www.facebook.com/Fraunhofer.FHR>



Instagram
https://instagram.com/fraunhofer_fhr/



Youtube
<https://www.youtube.com/channel/UC0dHBWZqhYaqBE7R37rDnrA>

**GLEICHZEITIG FÜR WIRTSCHAFT
UND WISSENSCHAFT LEBEN GEHT
NICHT.**

DOCH.

Forschung für die Anwendung sorgt bei uns
für vielseitige und spannende Projekte.

Unsere aktuellen Stellenangebote
für Studierende, Berufseinsteiger
und Berufserfahrene:

www.fhr.fraunhofer.de/karriere

